

# 공작기계 리브 구조에 따른 열전달 속도 비교

## Heat Transfer Velocity Comparison of Rib Structure of Machine Tool

\*# 김양진<sup>1</sup>, 이찬홍<sup>1</sup>

\*# Y. J. Kim(yangjin@kimm.re.kr), C. H. Lee

<sup>1</sup> 한국기계연구원 초정밀기계시스템연구실

Key words : Machine tool, Ribbed plate, Maximum-minimum temperature variation, Velocity of heat transfer, Thermal displacement

### 1. 서론

현재 상용되고 있는 공작기계 베드 리브 구조물은 정강성/동강성은 보증되는 형태이지만, 열적으로는 최적의 선택이 아니다. 이에 비해 최근의 공작기계는 고속 장비의 등장 등으로 많은 열원으로부터 열적 경계 조건이 베드 구조물에 가해지기 때문에 베드 또한 열적으로 안정된 구조를 가져야만 한다.

공작기계의 가공 정확도 저하의 원인 중 하나로 이러한 열적 불안정으로부터 파생하는 열변형을 들 수 있다. 옛날부터 열변형 방지를 위한 많은 주의가 행해져 왔었으며, 이를 위한 많은 실험, 연구가 행해져 왔었다<sup>[1]-[2]</sup>.

베드 구조물에 다용되고 있는 리브 구조물은 공작기계의 용도에 따라서 다양한 형상/배치를 가지고 있으며, 이는 구조물의 경량화, 가격 저렴화, 그리고 구조물의 중량 강성비를 크게 하기 위한 목적으로 사용되어지고 있다. 이와 같이 다양한 리브 구조물을 가지고 있는 베드 구조물을 설계함에 있어서 열적으로 안정된 패턴을 가지고 있는 리브 구조물의 설계 지침을 DB화하여 실제 공작기계 설계자들에게 제공할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 공작기계에 상존하고 있는 발열원 및 공작기계 업체에 따른 상용 베드 구조물의 리브 형상을 분석하고, 베드 리브의 형상별/배치별 열전달 특성 및 열변위를 해석, DB화하여 공작기계 베드 리브 구조물의 열적 안정 리브 패턴의 형상을 도출하는 것을 목표로 한다.

### 2. 공작기계 열원의 발열 거동과 중첩의 원리

공작기계의 경우, 내부 열원은 주축 베어링, 주축 모터, 직선 이송계, 이송계 볼스크류등이며 그 위치도 특정할 수 있는 부분이 대부분이다. 이러한 경우, 열변형을 평가할 때, 그 발열량을 구하는 것이 중요하다. 공작기계 열원에 있어서의 기본적인 발열 거동으로는, 주축의 회전수에 따라서 발열량이 Pulse 형태로 변화하는 발열 거동을 생각할 수 있다. 그리고 아래 그림1과 같이 복잡한 형태의 발열 거동을 중첩의 원리에 의거하여 Pulse 형태의 발열 거동으로 나누어 생각할 수 있다<sup>[3]-[4]</sup>.

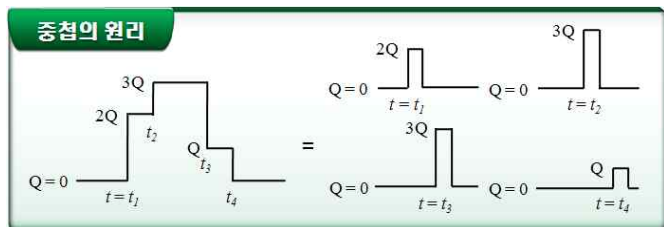


Fig. 1 Superposition Principle

본 연구에서는 DB화의 기본이 되는 중첩의 원리를 확인할 필요가 있다. 아래 그림3과 같이 베드 구조물의 한 극소 영역에 A와 B의 경계조건을 부과한 후 대향면의 한 선에서의 온도 분포를 측정하였다. 그림4에 각각의 경계 조건에 따른 온도 분포를 나타낸다.

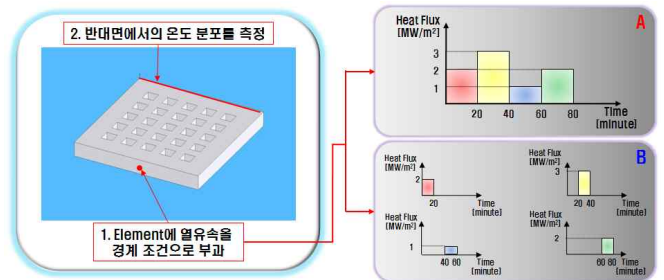


Fig. 2 Boundary Condition for Confirmation of Superposition Principle

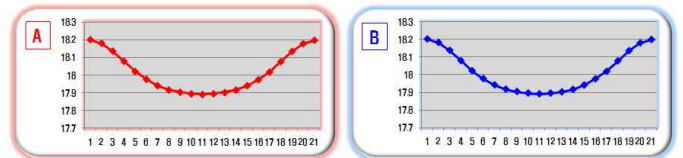


Fig. 3 Temperature Distribution

두 데이터의 RMS값은

$$x_s = \sqrt{\frac{1}{21} \sum_{i=1}^{21} x_i^2} = 0.000225$$

으로 충분히 작은 값을 나타내고 있으며, 이로 중첩의 원리가 확인 되었음을 알 수 있다.

### 3. DB화 대상인 열적 Criteria

본 연구에서는 DB화 대상인 열적 Criteria를

1. 구조물의 최대최소 온도차
2. 구조물의 최대 열변위
3. 구조물 중심부 온도 상승 시간

으로 설정하였다.

구조물의 최대최소 온도차를 Criteria로 설정한 것은 구조물의 온도 구배가 구조물의 임의의 지점간의 상대적인 변위차를 발생 시키며, 구조물 지점간의 변위차가 공작기계의 형상 창성 운동에 직접적인 영향을 미쳐 공작기계의 가공 정확도를 저하시키기 때문이다.

공작기계는 다른 기계 장비와는 달리 기본적으로 변위 설계를 바탕으로 하고 있기 때문에 열변위 역시 열적 Criteria로 설정할 필요가 있다.

마지막으로, 열전달의 속도를 비교하기 위해서 구조물 중심부에서의 온도 상승 시간(최고 온도 도달 시간)을 열적 Criteria로 설정하였다.

### 4. DB화 및 해석 고찰

아래의 모델을 대상으로 해석을 실행하였다.

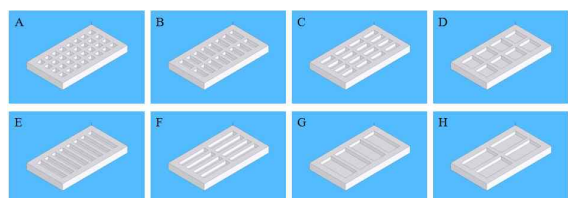


Fig. 4 Solid Model for Analysis

경계 조건으로는 모델의 한 측면에 30 W/m<sup>2</sup>의 열유속을 1초 동안 부과하는 것으로 설정하여 3600초 후를 정상 상태로 설정하여 상기의 열적 Criteria를 측정하였다. 모델의 초기 온도와 주변 환경 온도는 18도로 설정하였다.

모델 A의 정상 상태에서의 온도 분포와 열변위를 아래 그림 5에 나타낸다. 열변위 해석시, 경계 조건으로는 열유속 부과면에서의 Mounting을 고려하여 열유속 부과면과 지면이 접하는 하단 부분의 변위를 구속하였다. 모델의 재료로는 주철을 선택하였으며 주철의 물성치는 다음과 같다.

Table 1 Properties of Cast Iron

열전도율	50.4[W/(m·K)]
비열	546[J/(kg·K)]
밀도	7300[kg/m <sup>3</sup> ]
열팽창계수	11.5 X 10 <sup>-6</sup> [1/K]
영율	152.3[GPa]
열전달계수	20[W/(m <sup>2</sup> ·K)]

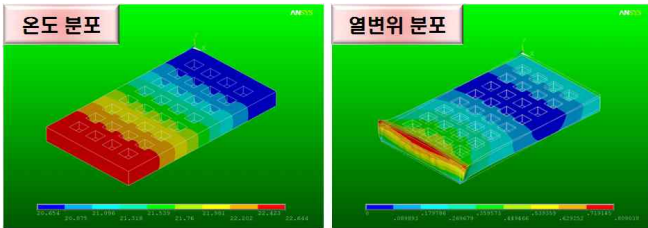


Fig. 5 Temperature and Thermal Displacement Distribution at the Steady-state Situation

모델 A의 최대최소 온도차는 1.990도, 최대 열변위는 0.809 mm이었다. 모델의 중심 부분에서의 시간과 온도 상승과의 관계는 아래 그림과 같으며 약 1107.5 초 후에 모델의 중심부가 최고 온도에 도달하였다.

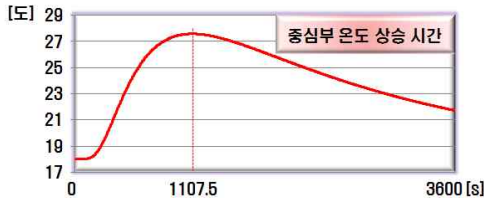


Fig. 6 Temperature Increase at the Center Point of Solid Model  
동일한 경계 조건으로 모델 B~H까지 해석하여 DB화하면 아래와 같은 표가 얻어진다.

Table 2 Database Chart

Plate	A	B	C	D
최대최소 온도차(도)	1.990	2.239	2.150	2.235
중심부 최고 온도 도달 시간[s]	1107.5	1143.5	1140.0	1175.0
최대 열변위 [mm]	0.809	0.839	0.833	0.853

Plate	E	F	G	H
최대최소 온도차(도)	2.298	2.194	2.417	2.367
중심부 최고 온도 도달 시간[s]	1158.5	1163.5	1186.0	1180.0
최대 열변위 [mm]	0.840	0.845	0.863	0.865

Table 2에서 정리된 구조물의 열적 Criteria를 구조물의 리브 형상과 비교하면 아래와 같은 그림이 얻어진다. x축의 m은 치수만 리브 구조물이 포함하고 있지 않은 구조물과의 상대 질량을 나타낸다.

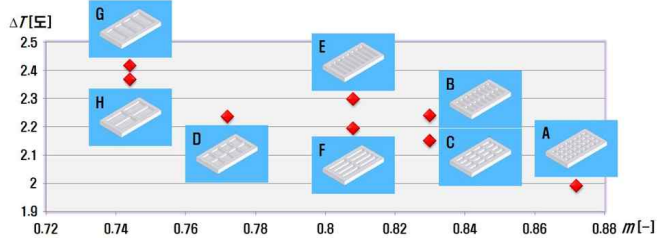


Fig. 7 Relationship between Relative Mass and Temperature Difference

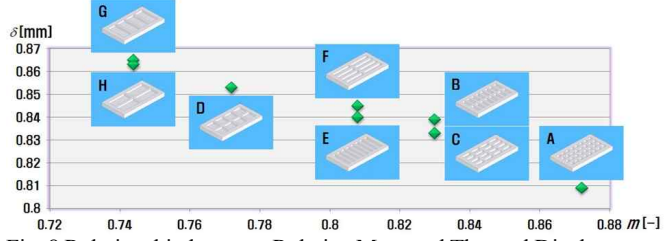


Fig. 8 Relationship between Relative Mass and Thermal Displacement

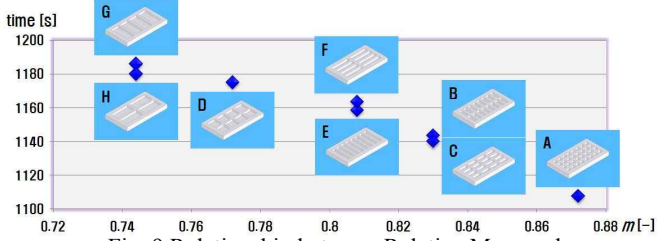


Fig. 9 Relationship between Relative Mass and

Velocity of Heat Transfer

위의 그림에서도 알 수 있듯이 상대 질량 m의 증가와 함께 구조물의 최대최소 온도차, 최대 열변위, 중심부에서의 최고 온도 도달 시간이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

1. 공작기계 업체에서 실제로 다용되고 있는 베드 리브 구조물을 간략화하여 DB화를 위한 모델을 설계하였다.
2. Impulse법을 적용하여 8개의 모델에 대해서 해석을 수행하였으며 최대최소 온도차, 최대 열변위, 중심부 최고 온도 도달 시간을 열적 Criteria로 DB화하였다.
3. 구조물의 상대 질량이 증가할수록 열적 Criteria가 감소함을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] Toshio Sata, Yoshimi Takeuchi, Nobuyuki Okubo, Kazunobu Sato, "Control of the Thermal Deformation of a Machine Tool(1st Report)-Rapid Stabilization of a Machine Tool before Working-," Journal of The Japan Society for Precision Engineering, **41**, 592-597, 1975.

[2] Yoshimi Takeuchi, Nobuyuki Okubo, Toshio Sata, "Control of the Thermal Deformation of a Machine Tool(2nd Report)-Control on Varying Heat Source-," Journal of The Japan Society for Precision Engineering, **41**, 1084-1089, 1975.

[3] Sankei Hori, Nobuhiko Nishiwaki, Katsuya Ishitomi, "Study on Estimating Thermal Deformation of Machine System," Journal of The Japan Society for Mechanical Engineers, **96**, 1391-1396, 1996.

[4] Sankei Hori, Nobuhiko Nishiwaki, "Study on Thermal Deformation of Machine Tool Structure Estimated by Its Basic Characteristics," Journal of The Japan Society for Mechanical Engineers, **97**, 1836-1841, 1997.