

# 3 章

# 熱 變 形

精密加工에 있어서 加工誤差중 열변형에 의한 것이 40~70%에 달할 정도로 크다고 한다. 열 변형을 방지하거나 최소화하기 위해서는 열의 發生源, 熱流動, 열 및 열변형 측정법에 대한 지식을 요한다.

Table 5-12는 공작기계가 받는 열을 열원에 따라 분류한 것이며, Fig. 5-74는 공작기계에서 소비되는 energy의 대부분이 내부 열손실이라는 것을 보여 주고, Fig. 5-75는 공작기계에서의 열유동을 나타낸다.

Table 5-12 工作機械의 熱源

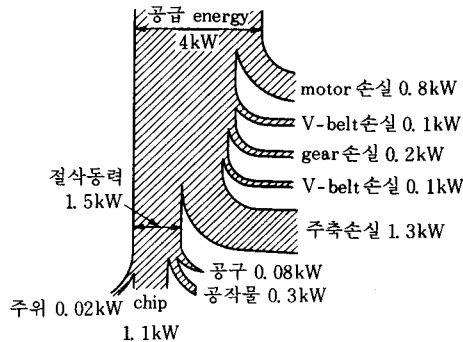
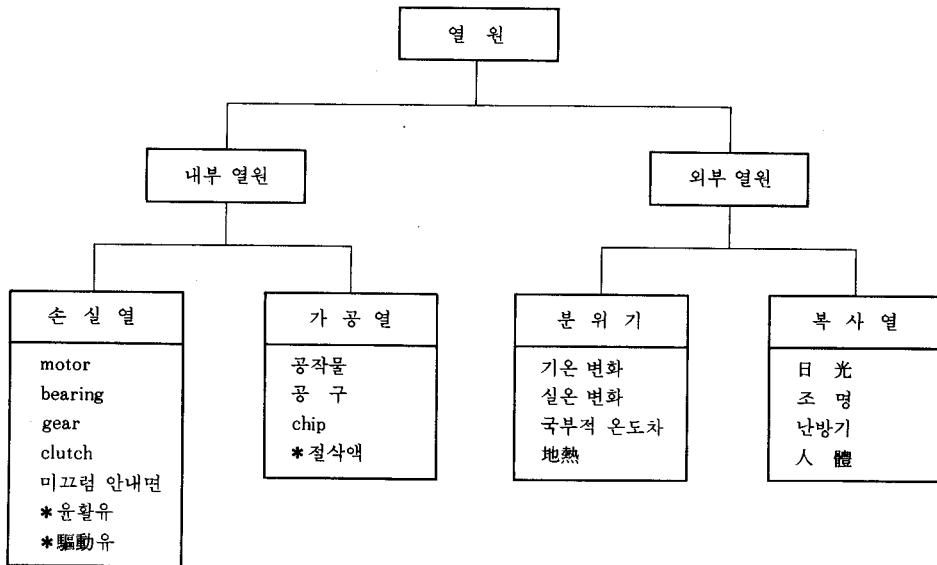


Fig. 5-74 주축회전수 1500rpm일 때 旋削 소비 energy 분포

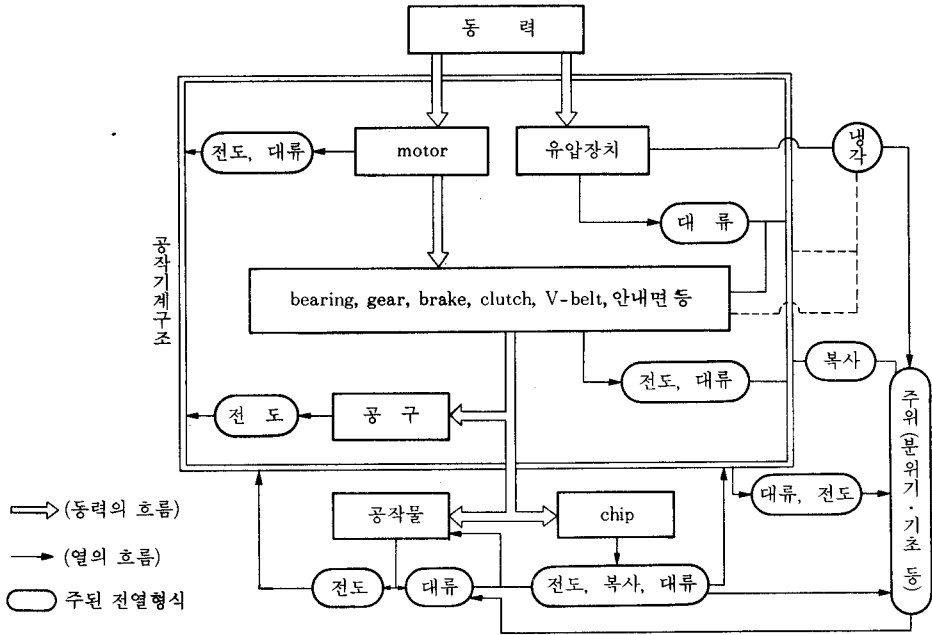


Fig. 5-75 공작기계의 열유동

### 3-1 熱變形解析

열변형 해석은 試作機에 대하여 변형의 실태를 파악하고 구조를 개선해 나가는 것도 되겠으나, 가능하면 設計者가 공작기계의 설계단계에서 열변형 정도를 예측하여 그것에 대비하는 연구를 하는 것이 이상적이라 할 수 있다.

열변형 해석의 수단으로서 i) 模型에 의한 실험과 ii) 有限要素法에 의한 해석 등이 있다.

plastic 등의 재료를 이용한 모형 실험도 유용하나, 그 결과를 곧바로 실제의 기계에 적용하는 데에는 많은 문제가 있다. 실제의 기계는 매우 복잡한 구조로 되어 있기 때문에 실물과 같은 구조의 모형 제작에도 어려움이 있다. 그러나 개략적인 열변위를 원리적으로 파악하는 데에는 도움이 된다.

유한요소법에 의한 해석에서는 경계조건인 정도 및 공작기계 구성요소에서의 發熱量과 熱傳達率 등의 복합요인이 정확히 제시만 된다면 계산 결과의 정도를 신뢰할 수 있다. 그러나 실제에 있어서는 熱源의 대부분을 차지하는 bearing, clutch 등을 제외한 motor 및 gear 등에서의 發熱, 결합부에서 접촉저항에 의한 발열에 관한 연구가 아직 미진한 상태이고 보면, 공작기계 내부의 열적 경계조건을 정확히 정한다는 것은 어려운 일이다.

## 3-2 熱變形測定

열변형을 측정하는 방법에는 변형을 직접 측정하는 것과 발열량 또는 온도를 측정하여 열변형을 계산하는 간접적인 것이 있을 수 있다. 切削熱은 절삭저항에 의하여 간단히 계산할 수 있으나 여타의 발열량의 측정과 예측은 어려운 일이며, 그 결과에 대한 정도에도 문제가 있다. 온도의 측정은 主軸과 같은 회전부를 제외하고는 비교적 용이하게 측정할 수 있다.

Table 5-13은 열변형 거동측정의 측정기와 정도를 보여 준다.

Table 5-13 열변형 거동측정의 측정기와 정도

대 상	측 정 정 도	측 정 법
변 위	0.01( $\mu\text{m}$ )	laser 간섭계(特)
	0.1	laser 간섭계, laser follow graphy*
	0.3	전기 micrometer(特), moire 간섭계
	1	전기 micrometer, dial gauge(特)
	3	dial gauge
온 도	0.01( $^{\circ}\text{C}$ )	thermistor(特)
	0.1	thermistor, thermal camera*
	0.2	열전대
	0.5	수은온도계, 저항온도계
발 열 량	10(kcal/h)	torque 에서 추정
	30	전력소비량, 온도 분포에서 추정

\* 표는 이차원적인 측정이 가능



## 3-3 熱變形對策

熱傳達率과 熱傳導率이 온도에 따라 변하지 않는다면 열변형은 발열량에 비례하므로 발열량을 감소시키는 것이 가장 중요하다. 따라서 bearing의 형식과 윤활법 등을 연구해서 개량하고, 가능하면 熱源이 되는 motor, gear 및 유압장치를 동작기계 본체와 분리해서 설치하는 것이 바람직하다. chip이 동작기계, 공구 및 가공물과 가급적 접촉하는 시간을 줄일 수 있도록 설계하는 것도 중요하다.

절삭가공시에 온도를 제어하는 대상에는

i) 분위기, ii) 윤활유, iii) 기계본체(주축 bearing, gear box 등), iv) 공구, 공작물, 조명 장치 및 chip 등이 있다. i) ~iv)를 동시에 해결하는 것을 목표로 할 때에는 공기 bearing, aluminium 합금 공작물, diamond공구의 사용과 동작기계에 oil shower를 하여야 하나, 高精密度가 요구되는 machining center에서는 oil shower만으로는 불충분하여 주축 bearing 등의 發熱部에 별도의 온도 control system이 필요하다. 온도의 제어범위는  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0$ .

01℃까지 가공정밀도에 따라 채용되고 있다.

선반, 내면연삭기 및 machining center와 같이 대칭성 구조를 얻기 쉬운 것은 對稱性을 적극적으로 이용하는 설계를 함으로써 온도 분포를 대칭되게 하면 1차원적인 상대변위를 상당한 정도로 억제할 수 있다.

이상의 것을 포함한 여타의 변형방지책 및 補正法을 정리하면 Table 5-14와 같다.

Table 5-14 열변형 대책

대 책	예	連鎖의遮斷			
		열 량	온 도 분 포	변 형	정 도 저 하
設 計	효율의 향상 sliding면 재료의 선택 潤滑의 선택(粘度, 量) 굴림마찰, 유체마찰의 이용 可變吐出形 pump의 채용 發熱이 적은 機器의 선택	○ ○ ○ ○ ○			
	구조의 개량 熱源을 機械本體 外에 설치 sliding면을 경사시켜 chip의 퇴적 방지 熱的 對稱形으로 설계(double column) 변형의 방향을 정도 저하를 받지 않는 방향으로 변형의 예상 위치를 교정시킴 豫張力의 부여 斷熱材의 이용 지지점의 주의 線膨脹係數가 작은 재료의 사용(invar)		○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○
열의 제거와 가열	적극적 냉각(oil shower) 放熱面積의 증가 액체의 순환량의 조정 보조열원		○ ○ ○ ○		
변형의 보정	열변형을 측정, in process 補正 열변형을 측정, off process 數値制御 온도에서 열변위를 추정하여 위치보정 強制力에 의한 열변형의 보정			○	○ ○ ○
環境의 보정	恒溫室에 넣음(簡易恒溫室) 공기흐름의 조절 복사열의 遮斷	○	○ ○		
작업조건	길들이기 운전 주축회전수의 저하 적절한 운전조건의 선택 열응력의 해방	○ ○ ○	○	○	○