

고속 정밀 가공기의 공구셋업 측정기술

박경택*, 신영재, 강병수 (한국기계연구원)

Tool-Setup Measurement Technology of High Speed Precision Machining Tool

K. T. Park*, Y. J. Shin, B. S. Kang (Nano-Mechanism. Dept., KIMM)

ABSTRACT

Recently the monitoring system of tool setup in high speed precision machining tool is required for manufacturing products that have highly complex and small shape, high precision and high function. It is very important to reduce time to setup tool in order to improve the machining precision and productivity and to protect the breakage of cutting tool as the shape of product is smaller and more complex. Generally, the combination of errors that geometrical clamping error of fixing tool at the spindle of machining center and the asynchronized error of driving mechanism causes that the run-out of tool reaches to 3~20 times of the thickness of cutting chip. And also the run-out is occurred by the misalignment between axis of tool shank and axis of spindle and spindle bearing in high speed rotation. Generally, high speed machining is considered when the rotating speed is more than 8,000 rpm. At that time, the life time of tool is reduced to about 50% and the roughness of machining surface is worse as the run-out is increased to 10 micron. The life time of tool could be increased by making monitoring of tool-setting easy, quick and precise in high speed machining center. This means the consumption of tool is much more reduced. And also it reduces the manufacturing cost and increases the productivity by reducing the tool-setup time of operator. In this study, in order to establish the concept of tool-setting monitoring the measuring method of the geometrical error of tool system is studied when the spindle is stopped. And also the measuring method of run-out, dynamic error of tool system, is studied when the spindle is rotated in 8,000 ~ 60,000 rpm. The dynamic phenomena of tool-setup is analyzed by implementing the monitoring system of rotating tool system and the noncontact measuring system of micro displacement in high speed.

Key Words : Run-Out(런-아웃), Measurement of Tool Set-Up(공구 셋업 측정), High Speed Precision Machining(고속정밀가공기)

1. 서론

고속 정밀 가공기에서의 공구 셋업 측정을 쉽게 함으로서 공구 셋업 시간을 줄여 생산성 향상에 기여 할 수 있다. 이것은 공구의 사용 수명이 늘어나게 할 수 있고, 이것은 다른 한편으로 보다 적은 공구 소모를 의미한다. 따라서 이것은 생산 비용의 절감을 가져온다.

가공 정밀도와 생산성을 향상 시키고, 공구의 파손과 마모에 따른 제품의 품질 저하를 방지하고, 공구의 셋업 시간을 단축하는 것이 매우 중요하다.

고속 정밀 가공기에서 스핀들 축에 고정되는 공구에 의한 기하학적 고정 에러와 구동에 의한 비동

기 에러 동작과 클램프 에러의 조합 등은 공칭 칩 두께의 약 2~30배에 달하는 Run-out이 발생한다. 또한 공구 자루의 스핀들 축과의 불일치와 스핀들 베어링에 의해서 Run-out이 발생하게 된다. 일반적으로 고속가공이라 함은 회전속도가 8,000rpm 이상에서 고려하는데, 이때 발생하는 Run-out이 10 마이크로 증가에 따라 공구 수명은 약 50% 정도 감소하게 되고 잘못된 공구의 셋업으로 인한 절삭력의 약화와 진동 발생으로 가공물의 표면 거칠기 또한 아주 악화된다.

본 연구에서 고속 정밀 가공기 공구계의 기하학적 오차에 대한 측정 방법과 공구계의 동적 현상에 의한 Run-out 측정 방법을 개발하여 공구 셋업 측정

기술에 대한 기본 개념을 정립함을 목적으로 한다.

또한 고속 미세 동적 변위 비접촉식 측정과 고속 회전체의 동적 현상 측정 시스템을 구축하여 공구 셋업 오차에 따른 가공오차 및 동적 현상을 분석한다.

2. 공구 셋업 측정기술

2.1 공구 셋업의 기하학적 오차

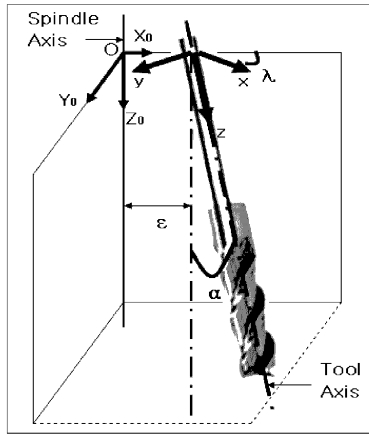


Fig. 1 Coordinate Frames

공구를 스핀들에 장착하는 방법은 여러 가지의 방법을 이용하여 셋업 오차를 줄이기 위해 노력한다. 그러나 셋업시 작업자가 수작업으로 셋업 측정을 하는 경우도 많이 있다. 작업자가 공구 셋업을 수작업을 통하여 측정하는 것은 비효율적이고 장착 시간이 길어질 수밖에 없다.

Fig.1은 엔드밀을 스핀들에 장착시 발생하는 기하학적 오차에 대하여 나타내었다.

편심거리(ϵ) : 스핀들 축을 절대좌표로 하여 공구축의 상단부에서 수직으로 스핀들 축과 공구수직 축과의 거리이다.

편심각(α) : 공구축의 상단부에서 수직방향과 공구의 기틀기와의 형성되는 각도이다.

공구날각(λ) : 공구날의 x축과 스핀들 X_0 축이 이루는 각도이다.

2.2 공구 셋업 측정기술

2.1.1 공구의 정의

작업이 진행되기 전 정확한 공구 셋업으로 가공물 가공시 발생하는 불필요한 여러 에러를 방지하고 고속정밀 가공기의 지능화를 유도하며, 사용 공구의 수명을 연장시키기 위해서 공구 셋업 측정이 꼭 필요하다.

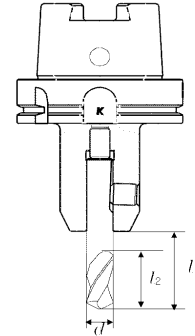


Fig. 2 Tool Identification

고속 정밀 가공기에 장착된 공구를 확인하여 가공 NC 프로그램이 가공 작업에 적합한지를 공구 셋업을 측정하여 공구에 대한 데이터를 얻고, 이를 분석하는 알고리즘을 통하여 현재의 장착된 공구를 확인한다. 공구 셋업에 대한 측정 데이터는 공구 생크 직경, 공구 장착 길이, 공구 생크 길이 및 공구 날수 등이 있다.

2.1.2 공구 셋업

부정확한 공구 셋업으로 인한 Run-out 발생 현상을 방지하고, 가공오차 발생을 최대한 감소시키기 위해서는 정확한 공구 셋업이 요구되어진다.

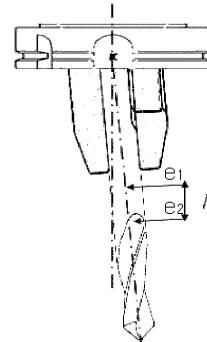


Fig. 3 Tool Misalignment

스핀들의 중심축과 공구의 수직 중심축 사이의 평행으로 이동한 편심 거리와 공구의 수직 중심축과 공구기울어진 중심축 사이의 편심각을 측정한다. 이러한 측정 데이터를 바탕으로 하여 얻어진 편심 거리와 편심각을 데이터베이스화하여 최소한의 Run-out이 발생 하도록 하고, 이로 인해 발생하는 공구수명의 단축을 줄이고 가공시의 가공오차 발생을 억제한다.

3. 측정 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

공구의 측정데이터들은 디지털 마이크로미터를 이용하여 에어스핀들에 부착되어 있는 마이크로 가

공용 공구들의 장착길이, 직경, 편심거리를 측정하고 편심각도를 계산한다. 공구들은 고유의 형상을 갖으며 형상에 따라 발생하는 피크 신호를 이용하여 공구의 날수를 측정하여 형상정보를 얻을 수도 있다.

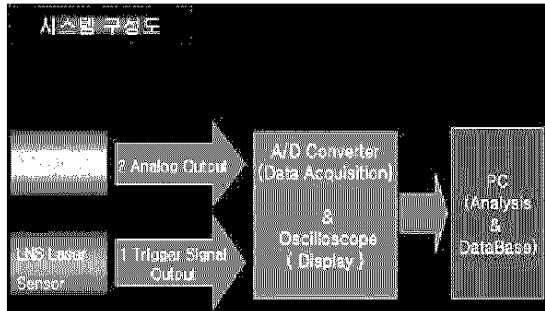


Fig. 4 Block Diagram of Tool Setting Monitoring

디지털 마이크로미터에서의 출력 신호값들은 두 개의 아날로그 신호들로써 ± 10 VDC의 신호로 아날로그 디지털 컨버터(14bit)를 통하여 데이터를 분석 및 저장하고, 레이저 거리 센서와 디지털 마이크로미터기에서의 출력을 확인하기 위해 디지털 오실로스코프로 확인한다.

3.2 실험방법

3.2.1 Least Squares Circle Method

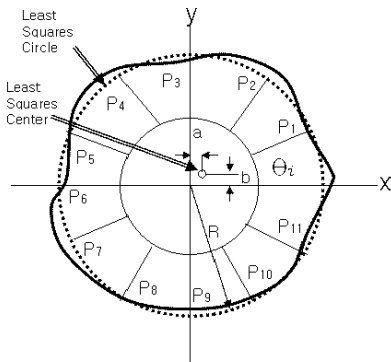


Fig. 5 Least Squares Circle Method

디지털 마이크로미터 측정 영역 내에서 스펀들을 회전시켜 공구의 각도에 따른 직경을 세분하여 측정한다. 측정된 데이터들을 이용하여 미국표준치수법의 진원도 측정방법의 하나로 LSC방법을 통해 공구의 직경을 측정한다.

공구의 장착길이는 스펀들이 부착되어 있는 Z축 스테이지를 이용하여 스테이지를 -Z축 방향으로 이동시키면 장착된 공구가 디지털 마이크로미터의 측정 영역 내에 들어오면 신호가 검출되는데 이때 스테이지 동작을 멈추고 스테이지의 이동거리를 측정

하여 공구 장착 길이를 얻는다.

3.2.2 공구 셋업 측정

Fig. 6에서 LSC방법을 이용하여 거리L만큼 떨어진 두 점의 직경의 중심좌표를 먼저 구한다. 공구의 직경 중심좌표 $a_1(x_1, y_1, z_1)$ 에서 l 만큼 이동하여 측정하여 얻어진 공구의 직경 중심좌표 $a_2(x_2, y_2, z_2)$ 에서 편심각 $\Delta\theta$ 를 식(1)과 같이 계산하여 구할 수 있다.

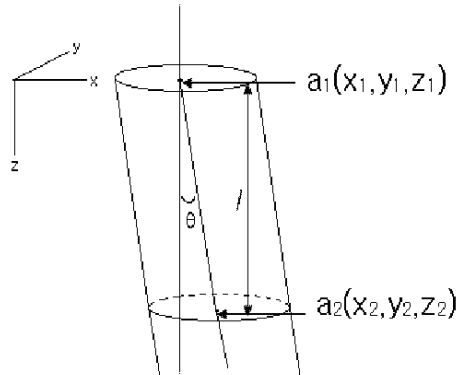


Fig. 6 Measurement of Eccentricity Angle

$$\Delta\theta = \cos^{-1} \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \quad (1)$$

측정과 계산에 의해서 얻어진 편심거리와 경사각을 바탕으로 실제 가공시의 발생하는 가공오차를 데이터베이스화하고, 또한 유효 편심거리와 편심각을 실험에 의해서 데이터베이스화 하여 가공여부 및 공구의 재셋업 여부를 결정하는데 이용할 수 있다.

4. 실험 결과

위와 같은 실험 방법으로 공구의 상단부와 일정 거리를 이동하여 측정한 공구 하단부의 직경 데이터들은 Fig.7과 Fig.8처럼 얻어진다.

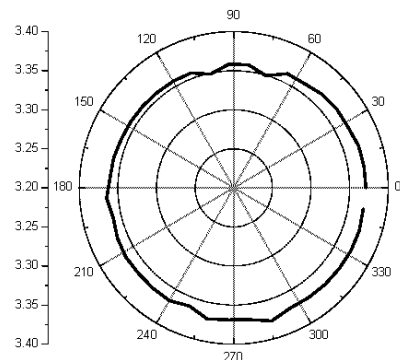


Fig. 7 Measured Value of Tool Upper

얻어진 직경데이터를 바탕으로 LSC 방법을 이용하여 얻어진 직경의 중심점은 다음과 같다.

공구 상단부 직경의 중심좌표(4.416, -6.4, 1000) μm 이고, 공구 하단부 직경의 중심좌표(-90.58, 389.04, 17500) μm 이다.

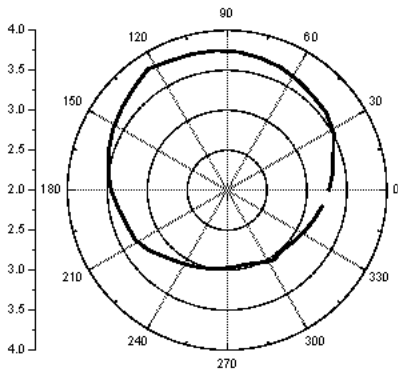


Fig. 8 Measured Value of Tool Lower

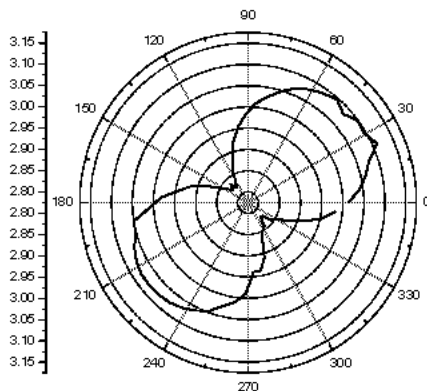


Fig.9 Measured value of tool edge

Fig.9는 공구의 날부분을 측정된 것으로 날의 잇수가 2개인 엔드밀을 보여주고 있다.

식(1)을 이용하여 편심각 $\Delta\theta$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta\theta = \cos^{-1} \frac{Z_2 - Z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{17500 - 1000}{\sqrt{(-90.58 - 4.476)^2 + (389.04 + 6.4)^2 + (17500 - 1000)^2}} \right)$$

$$= -1.412(\text{deg})$$

5. 결론

고속정밀 가공을 위한 중요한 준비작업 중의 하나로서 공구 셋업의 중요성을 상기하고, 이에 따른

공구 셋업의 개념을 확립하고, 공구 셋업 측정 장치와 방법에 대한 연구하였다. 앞으로 여러 가지 형상을 갖고 있는 공구를 이용하여 공구 셋업 측정 실험을 계속 진행하고, 실제 가공하여 얻어진 측정 정보 데이터들을 데이터베이스화 하여 웹기반으로 운영될 지식기반 시스템에의 자원으로 활용할 계획이다.

후기

본 연구는 차세대생산시스템사업단에서 지원하는 “웹기반 고속고정밀 가공시스템 운영요소기술 개발” 과제 의 일부분으로 수행되고 있는 것이다.

참고문헌

1. 이희석, 손성민, 김성렬, 안중환, "AE신호를 이용한 micro-grooving의 상태감시", 한국정밀공학회지, 추계학술대회논문집, pp. 322-335, 2001.
2. 김선호, 김용규, 이본진, 안중환, "AE센서를 이용한 고속 탭핑용 공구 모니터링에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 추계학술대회논문집, pp. 315-318, 2001.
3. A.E.Bayoumi, G.Yucesan and L.A. Kendall "An Analytic Mechanistic Cutting Force Model for Milling Operations", Trans. ASME, 116, 8, 1994, p324
4. Martin B. Jun, Shiv G. Kapoor, Richard E. Devor "The Effects of End Mill Alignment Errors on Vibrations at High Spindle Speeds", NAMRC, TP04PUB20 2, June, 2004.
5. Schulz, H. and T. Moriwaki "High Speed Machining", CIRP, Vol.41, No.2, pp.637-643, 1992.