

엔드밀 가공시 주축 오리엔테이션 기능을 통한 공구마멸 보정 장치의 개발

김전하* · 강명창† · 김정석** · 김광호***

(2002년 8월 19일 접수, 2003년 5월 28일 심사완료)

Development of Calibrating Instrument for Tool Wear using Spindle Orientation Function in End Milling

Jeon-Ha Kim, Myung-Chang Kang, Jeong-Suk Kim and Kwang-Ho Kim

Key Words : Flat End Mill(평 엔드밀), Spindle Orientation(주축 오리엔테이션), Calibration(보정), Tool Wear(공구마멸), Slenderness Ratio(세장비), BT Type Tool Holder(BT형 공구홀더)

Abstract

The most important thing in measuring the tool wear is to set up the measurement base. The end mill that is being used for machining of die is difficult to set up the base and to measure the tool wear because of geometric properties of that such as a helix and relief angle. In this study, a new instrument using spindle orientation function in end milling is developed to measure the tool wear and evaluated by the measuring system on the machine. Finally, this new method makes possible the wear measurement of same position and reduces the measuring time compared with the measuring methods such as the microscope and CCD.

기호설명

| | |
|------------------|---------------------|
| L | : 엔드밀 길이 |
| D | : 엔드밀 직경 |
| L_a | : 엔드밀의 축방향 높이 |
| L_c | : 엔드밀의 원주방향 길이 |
| L_m | : 최대 측정높이 |
| L_{90} | : 90° 회전시 축방향 높이 |
| α | : 헬릭스각(Helix angle) |
| β | : 엔드밀 회전각 |
| β_{offset} | : 초기 오프셋(Offset)각 |
| γ | : 여유각(Flank angle) |
| θ_{cal} | : 보정각 |
| D_{cal} | : 보정거리 |

1. 서론

공구마멸 측정시 가장 중요한 것이 측정 기준을 정하는 것이다. 선반이나 밀링용 팁(Tip)은 대부분이 사각형 모양이고, 경사면(Rake face)과 여유면(Flank face)이 직각 또는 일정한 각도를 이루면서 경계를 이루는 모서리가 있기 때문에 기준을 정하기가 쉽고, 여유각이 존재하더라도 동일한 각도로 기울여 측정하면 되기 때문에 측정이 어렵지는 않다.

최근 고속가공의 도입으로 고속·고정도가공을 위하여 엔드밀의 사용이 증대되고 있는 실정이지만, 엔드밀의 기하학적인 특성으로 인해 마멸측정이 어려운 실정이다. CCD를 이용한 기상계측 마멸측정시스템의 구축으로 평 엔드밀의 경우 공구를 탈착하지 않고, 공작기계 테이블상에서 바로 주축을 이동시켜 마멸을 측정하게 되면, 공구탈착, 광조도(Illuminance), 조명각도 등의 오차를 최소화하고, 반복정밀도를 높일 수 있다. 이렇게 오차를 최소화해도 여전히 남아있는 문제가 두 가지 있다

* 회원, 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부, ERC/NSDM

E-mail : kangmc@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-2361 FAX : (051)518-7207

** 회원, 부산대학교 기계공학부, ERC/NSDM

*** 부산대학교 재료공학부

첫째는 여유면마멸(Flank wear) 측정시 1차·2차 여유면의 경계선을 기준으로 정하는 방법 외에는 기준으로 정하기는 어렵고, 이 경계선은 헬릭스(Helix)각으로 인해 2차원 평면상에 존재하는 것이 아닌 3차원 공간상에 존재하므로 곡선의 형태로 인해 배율을 높이게 되면 측정 가능한 가시영역이 좁아지게 된다. 둘째는 가공후 엔드밀 화상을 실시간으로 획득하면서 화면상에 정해둔 기준선과 여유면들의 경계선을 일치시키기 위해 수동으로 조작해야 한다는 것이다.^(1,2) 이렇게 된다면, 최종적으로 추구하고자 하는 공구마멸 자동 측정은 불가능하다.

공구마멸 측정에 대한 대부분의 연구가 센서 신호를 통한 실시간 감시와 머신비전(Machine vision) 시스템을 이용한 이미지처리에 머물러 있으므로 실제적으로 기준이 되는 직접적인 측정에 대한 연구는 미진한 상태이다.^(3,4) 절삭력, 가속도, 음향방출, 소음신호를 처리하는 간접적인 측정법이 연구되고 있지만, 이는 다양한 가공조건과 공구형상으로 인해 많은 실험이 필요하므로 단순한 공정이나 실험실차원에서만 적용되고, 정확한 측정이나 감시가 어려운 실정이다.⁽⁵⁻⁸⁾

따라서, 가공중에 주축의 경로를 이동시켜 공구를 고정시킨 후 직접적으로 마멸을 측정하기 위한 방법이 아주 실용적이며 정확할 것이다. 이러한 방법으로 자동화가 되기 위해서는 사람의 조작없이 항상 일정한 위치에 공구를 정지시키는 기술이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 가공후 주축을 공구마멸 측정위치로 움직이게 하는 서브프로그램을 작동시켜 이동시킨 후 주축을 고정시켰을 때 공구가 항상 측정하고자 하는 위치에 정지하도록 한다. 이를 위해 공구를 공구홀더에 장착시 원주방향 각도조절에 의해 공구의 측정위치를 고정시킬 수 있으며, 엔드밀의 정확한 세장비를 직접 측정할 수 있는 장치를 개발하고, 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 공구마멸 측정오차

엔드밀은 날이 원주방향으로 헬릭스각을 가지고 생성되는 특수한 기하학적인 특성으로 인해 여유면마멸 측정시 정확한 측정기준을 잡기 힘들고, 초점을 맞추기가 어렵다. 이러한 엔드밀 자체의 기하학적인 측정오차 성분 외에도 광조도, 조명각도, 공구탈착, CCD부착 등의 외부 형상측정기에 의한 오차 또한 크게 작용한다. 이러한 측정기 문제는 광조명, CCD, 렌즈, 지그 등의 부품들이 각

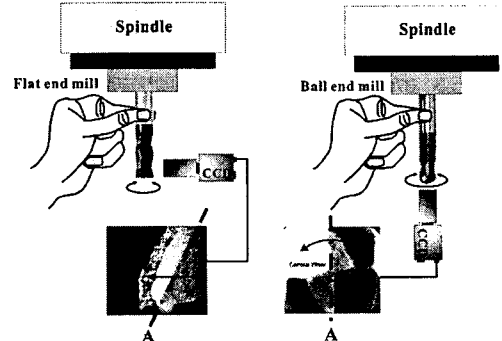


Fig. 1 Error in measuring the wear of end mill

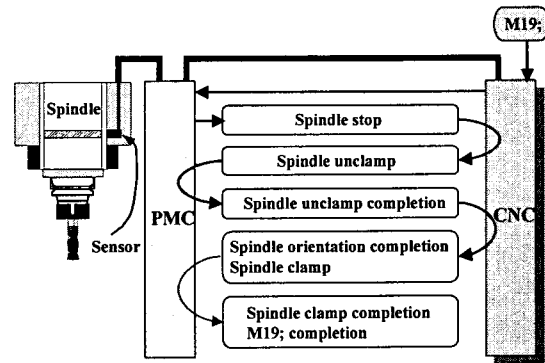


Fig. 2 Principle of spindle orientation

각 다른 다자유도를 가짐으로 인한 강성약화와 오차성분들을 최소화할 수 있도록 MMS(Machining & Measuring System)개념을 도입하여 일체화된 기상계측 마멸시스템을 구축함으로써 해결될 수 있다. 이로써 가공후 바로 경로를 이동하여 기상에서 공구마멸의 측정이 가능하게 된다. 그러나, 언급한 측정오차 성분들이 기상계측을 통해 최소화될 수는 있지만, 마멸 측정위치를 선정하기 위해 주축이 정지한 후 관측자가 손으로 날을 회전시키면서 측정할 날과 초점을 맞춰주어야 한다. Fig. 1에 평엔드밀과 볼 엔드밀의 여유면마멸 측정시의 수동 조작에 의한 오차유발 가능성을 나타내었다.

2.2 주축 오리엔테이션 원리

정확한 마멸경향의 측정을 위해서는 항상 동일한 위치의 이미지가 획득되어야 하지만, 앞서 언급한 수동 조작과정을 거치게 되면 측정시간이 상당히 지연되고, 오차가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 먼저 가공 전 공구를 측정하고자 하는 위치에 맞춰 공구홀더에 장착할 수 있는 장치가 필요하다. 그런 후 가공 중 공구마멸 서브프로그램을 로드(Load)하여 측정위치로 이동한 후 CNC(Computerized Numerical control)공작기계

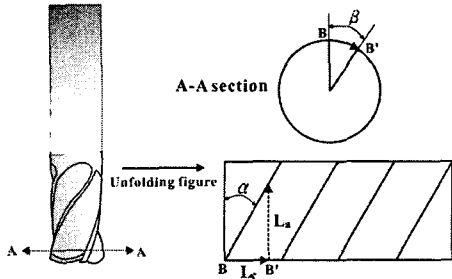


Fig. 3 Geometry and shape of flat end mill

의 주축 오리엔테이션 기능 즉, 주축 정위치 정지 기능을 이용하면 항상 동일한 위치의 이미지 획득이 가능하게 된다. 주축 오리엔테이션은 주축회전의 ±180° 범위 내에서 그리드시프트(Grid shift)로 위치를 옮길 수 있다. 검출기에 따라 포지션코더(Position coder)로 위치를 검출하는 방식과 내장형 센서인 빌트인 센서(Built in sensor)방식이 있다. FANUC시스템에서 주축 오리엔테이션의 지령 시퀀스(Sequence)는 Fig. 2와 같이 PMC(Programmable Motion Controller)와 CNC사이의 통신에 의해 주축 정위치가 이루어진다. 원리는 센서에서 1회전 신호와 위치검출 펄스신호를 피드백(Feedback)해서 CNC상에 기억되어 있는 주축위치에서 정지하도록 한다.

2.3 공구마멸 보정 장치 원리

BT형의 툴홀더는 180° 간격으로 마주보는 두 개의 홈이 주축에 있는 동일한 크기의 키와 일치하여 장착되므로 먼저 주축 오리엔테이션을 실행하여 툴홀더와 주축의 일치하는 하나의 홈과 키에 마크(Mark)를 해두면 공구장착시 이 마크를 고려하여 장착하여 주축 오리엔테이션시 반복적으로 동일한 위치의 마멸측정이 가능하게 할 수 있다. 따라서, 평 엔드밀의 경우 직경과 헬릭스각을 알고, 측정하고자 하는 축방향 높이를 정하면 툴홀더에 공구를 장착할 때 축방향 높이에 일치하는 각도로 회전시켜 장착할 수가 있게 된다. 먼저 평 엔드밀의 기하학적인 구조로부터 축방향 높이와 공구회전각의 관계를 원주방향으로 펼친그림인 Fig. 3으로부터 계산해 낸다.

헬릭스각 α와 측정하고자 하는 공구의 축방향 높이 La로부터 원주방향 길이 Lc는 식 (1)과 같다.

$$L_c = L_a \cdot \tan \alpha \quad (1)$$

펼친그림의 원주방향 길이의 최대값은 공구직경이 원주이므로 전체 원주길이에 대한 식 (1)에

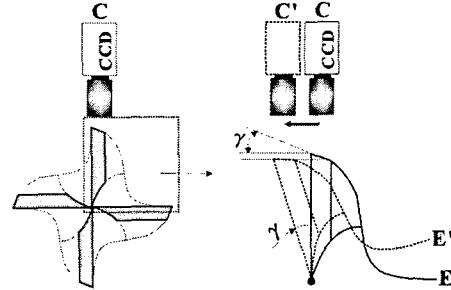


Fig. 4 Relation of relief angle and lens focus

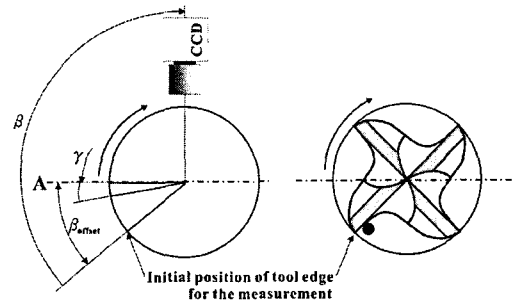


Fig. 5 Decision of offset angle for the measuring height

서 얻어진 원주방향 길이의 비가 공구장착시 회전시켜야 하는 각도가 된다. A-A단면에서 B점이 B'로 이동하는 각도 β의 라디안(Radian)값을 구하는 식은 식 (2)와 같다.

$$\beta = \frac{L_c}{\pi D} \cdot 2\pi = \frac{L_a \cdot \tan \alpha}{\pi D} \cdot 2\pi = \frac{2L_a \cdot \tan \alpha}{D} \quad (2)$$

평 엔드밀의 경우 여유각이 공구의 특성에 따라 보통 10~15° 사이에 존재한다. 따라서, Fig. 4에서처럼 초기 공구날의 수직상태에서 C와 같은 상태로 측정되면 측정하려는 여유면의 초점이 맞지 않게 되므로 C'상태처럼 날 E가 E'의 상태로 여유각 γ 만큼 공구를 적게 회전시켜 여유면 전체의 이미지가 다 획득되도록 해야 한다.

실제 가공시 발생할 수 있는 구성인선(Built-up edge)이 초점을 방해할 수 있지만, 엔드밀 가공은 단속절삭이고, 고속가공의 대두로 적은 절입과 날당이송, 고경도 금형의 수요 증가, 초경모재 엔드밀의 사용으로 구성인선이 잘 발생하지 않으므로 연강이나 스테인리스의 연속절삭시에 발생하던 구성인선은 고려하지 않았다.

Fig. 5의 A점을 기준으로 공구를 시계방향으로 회전시키려 할 때 측정하고자 하는 높이가 90° 회전시의 축방향 높이를 초과하면 CCD로 측정이 곤란해진다. 따라서, 측정하고자 하는 최대높이의

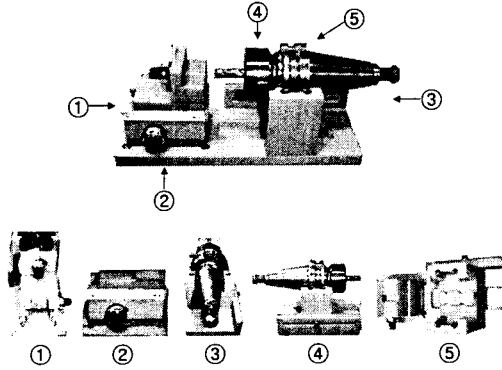


Fig. 6 Figures of instrument according to view positions

한계를 정해서 90° 회전시보다 축방향으로 초과하는 높이에 대한 각을 반시계방향으로 오프셋(Offset)시켜 기준을 새롭게 정해야 한다.

공구를 90° 회전시킬 때 축방향 높이는 식 (1)로부터 식 (3)과 같이 구해진다.

$$L_{90} = \frac{\pi D}{4 \cdot \tan \alpha} \quad (3)$$

최대높이에서 공구를 90° 회전시켰을 때의 높이를 제한 값을 식 (2)에 대입하고, 여기에 여유각을 더하면 식 (4)와 같이 오프셋시켜야 하는 각도가 계산된다.

$$\begin{aligned} \beta_{offset} &= \frac{2 \cdot \tan \alpha}{D} \left(L_m - \frac{\pi D}{4 \cdot \tan \alpha} \right) + \gamma \\ &= \frac{2 \cdot L_m \tan \alpha}{D} - \frac{\pi}{2} + \gamma \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)와 같이 오프셋시킨 각도에서의 위치가 기준이 되며 최종적으로 이 기준에서부터 회전시켜야 하는 공구의 회전각은 식 (5)와 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\pi}{2} + \frac{2 \cdot L_m \tan \alpha}{D} - \frac{\pi}{2} + \gamma - \frac{2 \cdot L_a \tan \alpha}{D} \\ &= \frac{2 \cdot \tan \alpha}{D} (L_m - L_a) + \gamma \end{aligned} \quad (5)$$

이런 원리를 이용하여 측정하고자 하는 높이에 일치하도록 공구를 회전시켜 장착시킬 수 있는 장치를 제작하였으며, 또한, 지금까지 버어니어 캘리퍼스나 측정자로 대략적으로 측정하던 공구의 들출길이를 직접 측정할 수 있게 하여 보다 정확한 세장비(L:D)를 구할 수 있게 하였다.

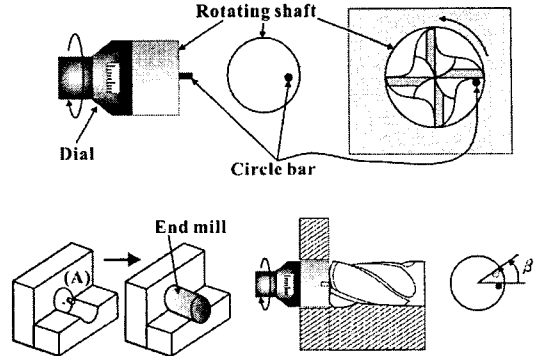


Fig. 7 Regulation of rotating angle and tool rotation

3. 공구마멸 보정 장치 개발

공구마멸 측정위치로 공구를 회전하여 고정하고, 세장비를 측정할 수 있도록 개발된 장치를 Fig. 6에 나타내었다. 전체 5방향에서 관찰되는 모습을 ① ~ ⑤부위로 확대하여 다시 나타내었다.

①부위는 이송대이며 공구를 회전시킬수 있는 축과 다이알이 장착되어 있고, ②부위는 공구들출길이를 측정할 수 있으며, ④부위는 툴홀더를 이송시키고 고정시킬 수 있다. 특히, 공구를 회전시키는 ①부위, 세장비를 알 수 있는 ②부위, 툴홀더를 정확하게 잡아주는 ④부위가 중요하므로 이에 대해 좀더 자세히 설명하기로 한다.

Fig. 6의 ①부위가 공구를 회전시키는 원리에 대해 개략적으로 Fig. 7에 나타내었다. 공구직경 크기인 10mm의 구멍을 20mm깊이로 뚫고, 반쪽은 개방되도록 하여 공구의 회전과 유입이 쉽도록 하였다. 반대쪽에 회전축을 다이알과 연결하여 회전하게 된다. 엔드밀 밀날과 접하는 회전축 원판의 중심에서 4mm되는 곳에 구멍을 뚫어 지름 1 mm, 길이 2mm정도의 원형바(Circle bar)를 고정시켜 이것이 정해진 각도에서 공구날을 고정시키거나 직접 공구를 회전시키는 역할을 하도록 한다. 회전축의 초기상태는 Fig. 7의 (A)그림이며, 원형바는 영점(0°) 조절된 상태이다. 이 상태에서 원형바에 접하는 날이 측정하고자 하는 날이 된다. 현재 본 장치에 설치된 다이알은 1회전에 50등분되어 있으므로 한눈금당 7.2°의 분해능을 가진다.

이상과 같이 제작된 장치에 엔드밀을 올려놓고, 원형바에 접한 날을 측정하고자 하는 높이에 의해 계산된 각도만큼 시계방향으로 회전시킨 후 간섭에 의한 각도변형을 막기 위해 다이알을 잠금상태로 하고, 공구홀더를 조여서 공구를 고정시킨다.

Fig. 6의 ②부위가 공구 들출길이를 측정하는

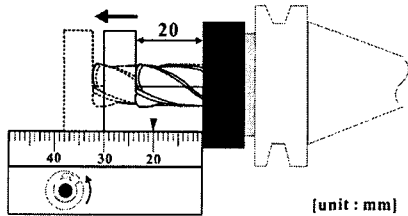


Fig. 8 Measurement of end mill projecting length

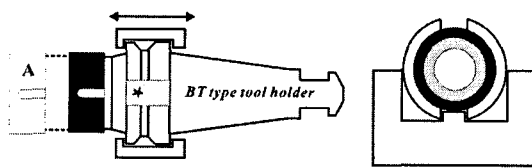


Fig. 9 Jig and motion for the tool holder

원리를 개략적으로 Fig. 8에 나타내었다. ①부위에서 공구를 회전시키기 이전에 가공을 수행할 공구의 돌출길이를 먼저 정해야 한다. 돌출길이의 초기치 즉, 최소길이는 20mm이다. 다이알을 반시계 방향으로 돌리면 상측 이송대가 좌측으로 이동하고 초기치에 이송거리가 더해져서 측정자에 표시되게 된다. 공구는 같이 이송되지 않으므로 수동으로 공구 밀날부가 이송대 벽면에 접하도록 한다.

Fig. 9에는 ④부위로 툴홀더를 정확하게 잡아주는 지그를 개략적으로 나타내었다 툴홀더의 홈에 별마크가 된 부분이 위로 오게 하고 반대편이 지그의 키와 접하도록 하였으며, 툴홀더가 회전과 이동을 하지 못하도록 지그는 정밀하게 제작되었다. 그림의 A와 같이 앞부분이 긴 형상의 툴홀더가 있으므로 종류에 따라 길이를 맞출 수 있도록 전·후로 이송이 가능하도록 하였다.

4. 평가 및 고찰

4.1 평가 실험장치 및 방법

개발된 장치의 평가를 위하여 사용된 머시닝센터(Machining center)는 Makino V-55이며, 마멸이미지는 200배 렌즈를 장착한 CCD를 테이블에 고정된 기상계측용 마멸측정시스템을 사용하여 획득하였다. 평가에 사용된 평 엔드밀은 축방향으로 10mm 가공을 수행하였고, 코너부마멸이 0.3 mm에 달한 마멸공구이다. 엔드밀 자체의 정확한 마멸상태의 측정방법에 대한 연구를 목적으로 하였기 때문에 이전 마멸실험에서 얻어진 마멸공구를 사용하였으며, 건식절삭시 절삭날에 부착되는 미세칩들은 압축공기로 제거하였다. 평가에 사용된

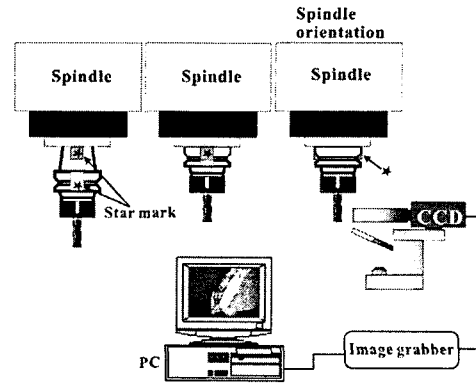


Fig. 10 Experimental setup

Table 1 Instrument and specification

| Instrument | Specification |
|------------------|---|
| Machining center | Makino V-55, Max 20,000 rpm |
| CCD | PULNIX Lens(x200) |
| Tool | 4 flute flat end mill(TiAlN coated) Diameter : 10 mm Length : 70 mm(Sank : 45 mm) Helix angle : 30° 1st relief angle : 14° Condition : Worm tool |
| Tool holder | BT type |

장치 및 사양들을 Table 1에 나타내었다.

엔드밀의 경우 경사면의 마멸측정이 어렵고, 치핑, 파손, 응착, 크랙 등이 모두 여유면에 나타나게 되므로 여유면 마멸의 측정에 초점을 맞추었으며, 공구손상의 현상에 대해 연구하기 보다는 측정위치의 마멸을 반복적으로 신속하고, 정확하게 측정하기 위해 엔드밀을 정해진 각도로 공구홀더에 장착하는 장치의 평가와 마멸 측정오차를 제거하는 방법에 대한 연구가 주로 수행되었다.

최대 측정높이를 15mm로 하고, 3개의 측정하고자 하는 높이를 정하여 식 (5)에 대입하여 공구 회전각을 구한다. 개발된 장치로 공구를 회전하여 툴홀더에 고정시키고, Fig. 10과 같이 주축에 장착한 후 주축오리엔테이션을 실행한다. 이 상태에서 주축을 렌즈쪽으로 이동시켜 측정높이 위치를 맞추고, PC화면상에 헬릭스각 30° 로 붙여둔 기준선과 공구의 1·2차 여유면의 경계선을 일치시킨 후 위치의 좌표를 영점으로 지정한다.

평가방법은 임의의 지점으로 주축을 이동시켜 놓고 주축 오리엔테이션 기능이 포함된 마멸측정을 위한 서브프로그램을 구동시켜 지정된 공구마멸 좌표계로 이동하여 마멸이미지를 획득한다. 1

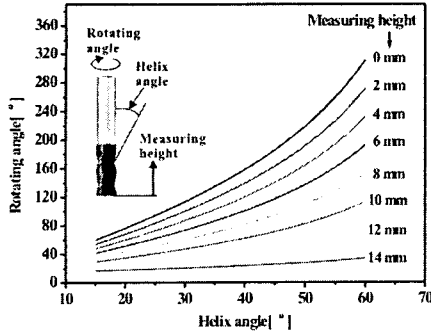


Fig. 11 Rotating angle according to helix angle and measuring height

차 여유면의 선명한 이미지 획득여부를 판단하고, 실제 제작된 장치로부터 발생한 오차성분을 정량적으로 파악하여 이론적으로 계산된 공구 회전각을 수정한다. 수정된 회전각의 적용으로 각 측정높이에서의 선명한 이미지 획득정도를 파악하고, 임의 위치에서 반복 실험으로 동일한 이미지의 획득 가능성을 평가한다. 또한, 기존의 마멸 측정법들과의 측정시간을 측정하여 본 장치에 의한 측정법의 효율성을 확인한다.

4.2 평가 결과 및 고찰

평 엔드밀의 헬릭스각과 측정높이에 따른 공구 회전각을 알아보기 위하여 식 (3)에 15° 에서 60° 까지의 헬릭스각과 여유각 14° 를 대입하여 측정높이 14mm까지의 공구회전각 시뮬레이션 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

헬릭스각을 가지는 엔드밀의 기하학적인 특성으로 인해 엔드밀 형상과 높이에 따라 각기 다른 공구회전각이 적용되어야 함을 알 수 있다.

엔드밀의 여유면마멸 이미지 획득시 Fig. 12(b)와 같이 마멸부위는 은백색, 1차 여유면은 회색, 2차 여유면은 검은색으로 나타날 때를 최적의 조명상태로 정하고, 1차 여유면은 렌즈와 수직한 평면을 이루도록 하여 왜곡된 이미지가 생기지 않도록 하였다. 이렇게 함으로써 기준선과 마멸부위의 구분이 용이하고, 직접적인 마멸측정이나 디지털 이미지처리(Image processing)가 유용할 것이다.

평가에 사용된 공구의 경우 측정하고자 하는 최대높이 한계가 15mm이므로 식 (1)로부터 구해진 초기 윗셋각 23.2° 를 장치에 설정하였다. 실제 측정높이는 엔드밀의 끝날이 PC화면 중앙에 있을 때를 영으로 하여 측정하였다. 측정할 높이 4, 8, 12mm를 식 (5)에 대입하여 구해진 회전각만큼 장치에서 엔드밀을 회전시킨 후 주축에 장착하고, 주축고정을 실행하여 마멸을 측정한 결과, Fig. 12

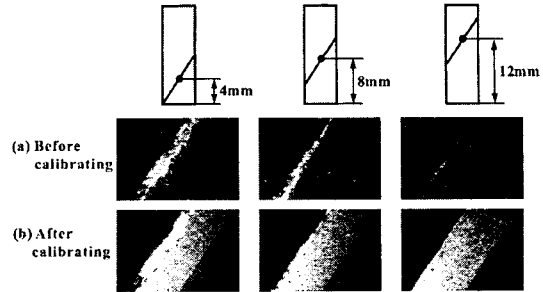


Fig. 12 Calibration of wear image by the reverse rotation

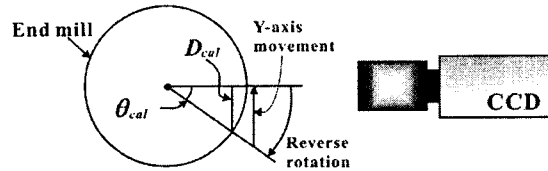


Fig. 13 Calibration principle of initial offset angle

Table 2 Calibrating distance and angle according to measuring height

| Measuring Height L_a (mm) | Rotating Angle β (°) | Calibrating distance D_{cal} (mm) | Calibrating angle θ_{cal} (mm) |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 4 | 80.2 | 1.17 | 13.5 |
| 8 | 47.1 | 1.2 | 13.9 |
| 12 | 14 | 1.19 | 13.8 |

(a)와 같이 광조도가 어둡고, 여유면상에서 초점이 균일하지 않음을 알 수 있다. 따라서, Fig. 12(b)처럼 엔드밀을 역회전시켜 선명한 광조도와 여유면의 균일한 초점이 잡히도록 보정하였다.

이러한 원인은 장치 및 엔드밀 형상에 의한 오차로 역회전각도만큼 보상이 이루어져야 한다. 주축 회전각도의 측정이 곤란하므로 Fig. 13과 같이 주축을 회전시키고, 이동시킨 Y축 보상거리를 측정하여 보상할 회전각도를 식 (6)과 같이 정한다.

$$\theta_{cal} = \sin^{-1}\left(\frac{2 \cdot D_{cal}}{D}\right) \tag{6}$$

이상의 실험으로 얻어진 보정거리와 각도에 대한 결과값들을 Table 2에 나타내었으며, 초기 윗셋각은 보정각도가 더해져서 최종적으로 식 (7)와 같이 수정된다.

$$\beta_{offset} = \frac{2 \cdot L_m \tan \alpha}{D} - \frac{\pi}{2} + \gamma + \theta_{cal} \tag{7}$$

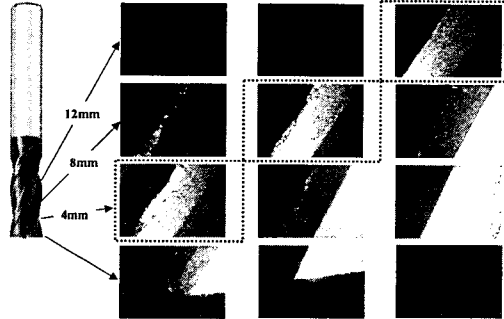


Fig. 14 Differences of flank wear images according to measuring height

본 장치로부터의 보정하기 위한 거리는 거의 일정하게 1.2mm이므로 보정해야 할 회전각을 13.9°로 정하였다. 따라서, 최종적인 윗셋각은 37.1°가 된다. 장치 및 엔드밀의 기하학적인 형상에 기인한 윗셋각은 엔드밀의 형상에 따라 앞선 실험방법에 의해 사전에 정해져야 한다.

수정된 윗셋각에 의한 마멸 이미지의 획득정도를 파악하기 위하여 주축 오리엔테이션 기능을 사용하여 실험한 결과 각각의 측정높이들에서 선명한 이미지의 획득이 가능함을 Fig. 14에 나타내었다. 각각의 측정시 측정하고자 했던 높이 외의 다른 높이의 이미지들은 초점이 맞지 않고, 여유면을 나타내지 못하며 조명상태가 좋지 않음을 알 수 있다. 또한, 임의 위치에서의 반복 실험을 통해 동일한 이미지의 획득이 가능하므로 주축 오리엔테이션 기능의 도입이 유효함을 파악하였다.

개발된 장치를 이용한 새로운 공구마멸 측정방법이 측정시간을 얼마나 줄일 수 있는가를 파악하기 위하여 ① 공구현미경(Microscope)시스템, ② CCD시스템, ③ 기상계측용 CCD시스템, ④ 주축 오리엔테이션을 이용한 새로운 방법의 4가지 경우에 대해 평가하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 마멸 측정시간에 대한 비교 측정방법은 간단하게 다음과 같다.

방법 ①은 가공 후 공구홀더를 주축에서 분리하고 공구현미경을 통해 마멸을 측정한 후 다시 주축에 장착한다.

방법 ②는 가공 후 CCD가 장착된 마그네틱 베이스를 가공기 테이블에 올려 부착하고 마멸을 측정 후 다시 마그네틱 베이스를 원위치 시킨다.

방법 ③과 ④는 가공 후 초기에 설정된 공구마멸 측정 좌표계로 이동하여 CCD가 장착된 기상계측 전용시그 시스템으로부터 마멸을 측정한다.

방법 ①, ②, ③은 모두 수동으로 초점을 맞춰야 하고, 효과적인 조명각도 선정을 위해 측정시

Table 3 Comparison of measuring time for various methods of tool wear measurement

| Method | Measuring time |
|------------------------------------|----------------|
| 1. Microscope | 2min 12sec |
| 2. CCD system | 1min 40sec |
| 3. CCD system on the machine | 47sec |
| 4. New method(Spindle orientation) | 28sec |

간이 지체되는 단점을 가지고 있다. 이러한 평가는 지정된 위치로부터 공구마멸 측정과 이미지 획득 후 가공전 원위치 상태로 복귀하는 시점까지의 시간을 측정하였으며, 5회 반복 측정시간의 평균값을 비교하였다.

기상계측 마멸측정과 주축 오리엔테이션을 통합한 새로운 방법이 공구현미경 측정법에 비해 5배정도 측정시간이 단축됨을 알 수 있다.

개발된 공구마멸 보정장치가 실용화되기 위해서는 소직경의 엔드밀에 대한 공구회전부의 제작이 필요하고, 동시에 기상계측 CCD시스템 또한 고성능/고배율이 되어야 할 것이다.

5. 결론

본 연구는 보다 정확하고 신속한 엔드밀의 마멸측정을 위하여 수행되었으며, 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 주축 오리엔테이션 기능의 원리를 파악하였고, 측정하고자 하는 고정된 엔드밀의 공구마멸 측정높이 만큼의 회전각도를 계산하는 방식식을 기하학적 형상 치수들로부터 유도하였다.

(2) 이론적으로 계산된 회전각도로 엔드밀을 회전시켜 고정시킬 수 있으며, 동시에 세장비의 측정이 가능한 공구마멸 보정 장치를 개발하였다.

(3) 장치의 성능평가를 통해 이론적인 각도 외에 장치에서 기인하는 오차 각도를 파악하였고, 이를 보정하여 초기 윗셋각을 수정하였다.

(4) 각각 다른 마멸정도를 가지는 측정높이에 대한 성능평가를 통해 선명한 마멸이미지의 획득이 가능하였고, 반복실험을 통해서도 동일한 이미지의 획득이 가능하였다.

(5) 기존의 직접적인 공구마멸 측정법들에 비해 월등히 뛰어난 작업효율을 나타내었으며, 특히, 공구현미경 측정법에 비해서는 측정시간이 5배정도 단축될 수 있었다.

본 연구는 향후 직접적인 공구마멸의 자동 측정시 마멸이미지를 획득하고, 처리할 수 있는 연구의 바탕이 될 것이다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터(ERC/NSDM) 및 부분적으로 국가지정연구실(NRL)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Iwabe, H. and Fujii, Y., 1990, "Study on Cutting Mechanism of Different Helix Angles End Mills," *JSPE*, Vol. 10, pp. 1889~1893.
- (2) Ko, S. L., Lee, S. K. and Bae, S. M., 2001, "Study on the Design of End Mill Geometry," *KSPE*, Vol. 18, No. 8, pp. 24~31.
- (3) Martin, K. F., 1994, "A Review by Riscussion of Condition Monitoring and Fault Diagnosis in Machine Tools," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 34, No. 4, pp. 527~551.
- (4) Pfeifer, T. and Wieggers, L., 2000, "Reliable Tool Wear Monitoring by Optimized Image and Illumination Control in Machine Vision," *Measurement*, Vol. 28, No. 3, pp. 209~218.
- (5) Roget, J., 1986, "Use of Acoustic Emission for In-process Monitoring of Tool during Turning and Milling," *Progress in Acoustic Emission III, The Japanese Society for NDI*, pp. 94~101.
- (6) Lee, K. Y., Ha, G. H., Kang, M. C., Lee, D. W. and Kim, J. S., 2000, "Prediction of Surface Topography by Dynamic Model in High Speed End Milling," *KSME*, Vol. 24, No. 7, pp. 1681~1688.
- (7) Wilcox, S. J., Reuben, R. L. and Souquet, P., 1997, "The Use of Cutting Force and Acoustic Emission Signals for the Monitoring of Tool Insert Geometry during Rough Face Milling," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 37, No. 4, pp. 481~494.
- (8) John, T. R. and Sudhakar, M. P., 1998, "Early Prediction of Impending End Milling Tool Failure using Acceleration Signals," *Transactions of NAMRI/SME*, Vol. 26, pp. 243~248.