

선삭 공정에서 공구모니터링에 관한 연구 (I) - 공구마모

고정한*, 김영태*, 이상조**

Research about Tool Wear Monitoring in CNC Lathe Machining

Jeong Han Ko*, Young Tae Kim*, Sang Jo Lee**

ABSTRACT

Research about tool condition monitoring has been done until now for product automation and unmaned system. But it is hard to apply it to the industrial fields due to its cost and reliability. This paper presents the new method of tool wear measurement using Marpos gauge. This is a kind of touch sensor, so its cost is lower than vision system. And it is not affected by dust and illumination, which are important in vision system. This proposed method use tool clearance angle to measure flank wear. Experimental results compared with vision system shows that this method is available for tool condition monitoring system.

Key Words : Flank Wear(플랭크 마모), Marpos Gauge(마퍼스 게이지), Touch Sensor(접촉 센서), CNC Lathe(CNC 선반), Online Monitoring(온라인 모니터링)

1. 서 론

현재 제품을 가공하고 생산하는 기존의 생산 방식은 경쟁력의 감소에 부딪히고 있다. 제조업 분야에서 인건비의 증가와 새 제품이 개발되었을 때 설비 개선의 비용, 불량품에 대한 처리 등으로 인해 이런 어려움이 나타나고 있다. 따라서 이것을 극복하고 제품의 단가를 낮추면서 제품의 품질을 향상시키는 유연성을 가진 무인 가공 시스템의 도입이 제안되고 있다.

무인가공 시스템으로는 컴퓨터를 이용하여 여러 대의 CNC 공작기계를 하나로 묶어 운영하는 FMS(flexible manufacturing system), 공작 기계를 메인 컴퓨터로 직접 제어하는 DNC 시스템, 그리고 이러한 시스템에 공구 관리 및 생산 관리 시스템까

지 접목시킨 CIM(computer integrated manufacturing) 등이 활용되어지고 있다. 뿐만 아니라 IMS(intelligent machining system)의 개발을 통해 기계 자체적으로 이상 진단 및 치료 시스템을 가진 기계의 개발로 완전한 무인화 공정 시스템을 구축하고 이를 통한 생산성 향상을 달성하기 위해 공구마모와 공구파괴 등을 감시하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 공구상태 모니터링에 대한 기술은 생산 자동화 및 제품의 신뢰성 향상을 위해 공구 마모 예측에 대한 연구와 공구 파괴 검출에 대한 연구 측면에서 많이 접근되어지고 있다. 이 중에서 공구동력계나 AE센서, 전류센서 등을 이용한 공구파괴 검출에 관한 연구가^{1,2,3,4)} 활발히 진행중이며 신경회로망이나 절삭 분력비 파라미터들을^{5,6)} 이용한 공구마모 예측에 관한 연구도 어느 정도 성과를 얻고 있다.

공구 마모의 검출은 일반적으로 화상처리 시스템을 이용하고 있지만, 화상처리 시스템을 공작기계에 직접

* 연세대학교 기계공학과 대학원

** 연세대학교 기계전자공학부

장착하는 것은, 절삭유와 이물질 등의 원인으로 센서의 신뢰성이 감소하고, CNC와 별도의 인터페이스가 필요하다는 단점이 있으므로, 접촉식 센서를 이용하여 기계에 직접 센서를 장착하여 공구의 마모를 측정, 보정하는 것이 훨씬 더 실제적인 방법이라고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 접촉식 센서의 일종인 마퍼스 게이지를 이용하여 공구 마모를 측정하고, 공작물의 치수를 보정하는 시스템을 개발하고자 한다.

마퍼스 게이지는 접촉식 센서이고, 접촉되는 순간에 공작기계의 CNC로 고속 스킵 신호를 보낸다. 이 신호를 이용하면, 공작물의 치수 정밀도에 직접적으로 영향을 미치는 인서트 팁의 X방향 마모량을 직접 측정할 수 있다. 인서트 팁의 플랭크 마모량도 Z방향으로 플랭크면의 깊이를 측정하고, 공구의 여유각을 이용하여 플랭크 마모의 폭을 추정해 낼 수 있으므로, 현재 인서트 팁의 플랭크 마모량을 계산해 낼 수 있다. 이 센서는 가격도 저렴하고, 공작기계에 직접 장착하기도 용이하므로 실용화하기에 매우 좋다고 판단된다. 본 연구에서는 현재 공구마모 측정에 사용되는 CCD 카메라의 단점을 보완하면서 인프로세스로 공구마모를 측정할 수 있는 저가의 접촉식 센서의 사용을 제안하였으며 그 신뢰성을 확인하여 보았다. 이 실험을 위해 전자 터치 센서로 예비 실험을 행하였고 실제 마퍼스게이지를 CNC선반에 적용하여 신뢰성 있는 결과를 제시하였다.

2. 공구 마모 측정 방법

Fig. 1에 공구 마모의 측정 방법을 도시하였다. 일반적으로 정삭시 공구 마모의 판단은 플랭크 마모 0.3mm를 기준으로 한다. 중삭이나 황삭의 경우는 플랭크 마모가 0.4mm~0.5mm될 때까지 사용하기도 한다. 본 연구에서는 플랭크 마모 0.3mm를 검출하는 것을 목표로 하였다.

마모의 측정 방법은 Fig. 1에서 알 수 있듯이, 플랭크면의 깊이를 마퍼스 게이지로 측정하고, 인서트팁과 공작물의 여유각을 이용하여 플랭크마모의 폭을 추정해내는 방법을 사용하였다. 그리고 비전 시스템을 사용한 결과와 비교하였다. 플랭크 마모는 공구의 여유면에서 발생하고, 공구의 여유각

을 이용하여 플랭크마모의 깊이를 측정함으로써 그 폭을 추정해 낼 수 있다. Fig.1에 공구의 경사각이 0° 라고 가정한 경우의 플랭크 마모 폭을 계산하는 방법을 도시하였다. 일반적으로 여유각은 매우 작은 값이므로, 경사각이 0° 가 아닌 경우라도 Fig.1에서 제시한 방법으로 충분한 오차범위 내에서 플랭크 마모 폭을 추정해 낼 수 있다.

만약 인서트팁을 특별한 것으로 사용하지 않는다면, 여유각은 보통 툴 홀더에 따라 정해지는 값이다. 일반적으로 많이 사용되는 툴 홀더의 여유각은 5° ~ 6° 정도이다.

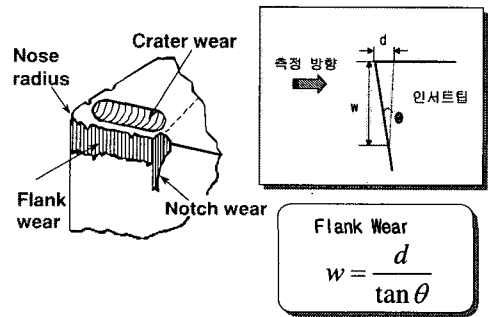


Fig. 1 The measuring method of tool wear

하지만 실제 가공시에는 절삭력에 의한 공구의 비틀림 변형 때문에 그만큼 여유각은 더 증가한다. Fig. 2는 플랭크면의 마모된 형상을 이용하여 가공시의 공구의 실제 여유각을 Surface Roughness Tester를 이용하여 구하는 방법을 도시하고 있다. 이 방법을 이용하면 가공시의 실제 여유각을 계산할 수 있으며 이 값을 이용하여 실제에 근접한 공구 마모량을 계산해 낼 수 있다.

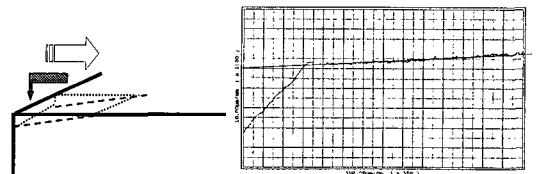


Fig. 2 Measurement of primary flank clearance angle

3. 실험

3.1 실험장치

다음 페이지의 Fig. 3은 실험 장치도를 보여주고 있다. 실험은 대우 Pan20 NC선반과 기아중공업(주)의 PC-NC 선반으로 행하였으며 이때 사용된 센서는 공구동력계, 전류센서, 마퍼스 게이지, 그리고 비전 시스템 등이다.

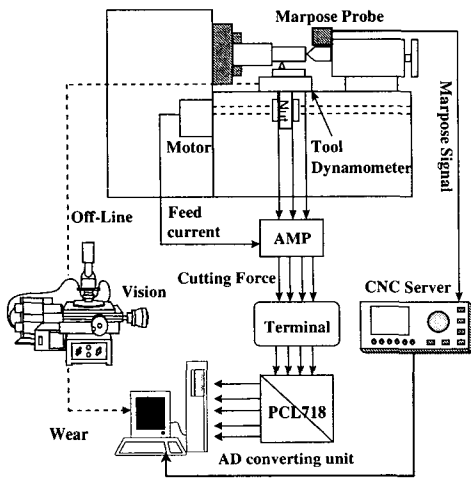


Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup

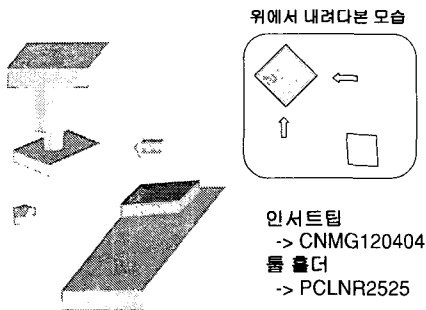


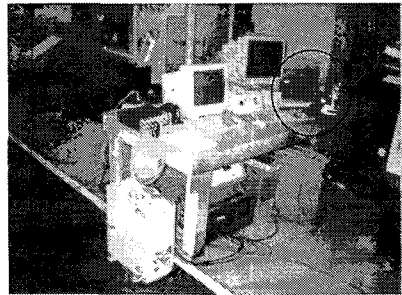
Fig. 4 The principle of measurement of tool wear by marpos probe

공구동력계로는 절삭력을 측정하여 공구마모와 공구파괴 신호분석을 행하며 전류센서의 경우 절삭력 신호와 비교하여 본다. 마퍼스 게이지 신호의 경우 CNC에서 고속 스킵 신호로 직접 받아 볼 수 있다. 이 신호값을 공구 마모량으로 보정한 다음

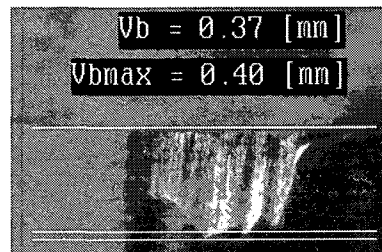
실제 비전 시스템에서 측정된 마모값과 비교하여 본다. 아래 Fig. 4는 마퍼스게이지로 공구마모를 측정하는 원리를 보여주고 있다.

마퍼스 게이지에 인서트팁이 닿아서 일정한 임계치의 변형이 발생하면 CNC 선반으로 고속 스킵 신호가 입력되어 그때의 좌표치를 매크로 변수에 저장할 수 있다. 그 다음에 계속 가공하면 마모가 증가하게 되고, 다시 마퍼스 게이지를 사용하면 측정되는 좌표값은 감소하게 된다. 그 차이가 플랭크 마모의 깊이가 되고, 이 값을 탄젠트로 나누면 플랭크 마모의 폭을 추정해낼 수 있게 되는 것이다.

Fig. 5는 플랭크마모 측정에 사용한 비전시스템과 그 측정결과를 보여주고 있다. 비전시스템에서는 CCD카메라와 현미경을 이용하여 플랭크 마모 폭을 측정할 수 있다.



(a) Vision System



(b) Measurement of vision system

Fig. 5 Vision system

공구동력계 신호 주분력파와 이송분력, 배분력 세가지를 측정하고 전류센서는 z방향 이송모터의 전류를 측정한다. 공구동력계로는 공구가 파괴될 때 절삭력의 변화 패턴을 파악하며 이 절삭력을 기초로 공구파괴시 다른 센서신호에 대한 신뢰성을 주고자 한다.

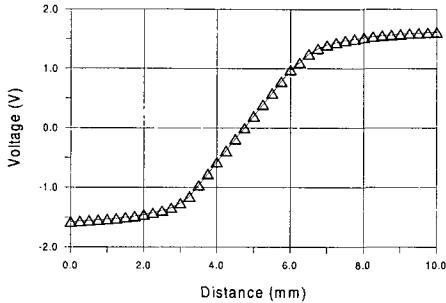


Fig. 6 Calibration chart of electromicrometer

Fig. 6은 전기 마이크로미터의 캘리브레이션 값을 보여 주고 있다. 그림에서 보면 약 3.5mm-6.5mm에서 선형적임을 볼 수 있다. 이 영역을 실제 측정에 사용한다. 마이크로미터의 해상도는 1 μ m이다. 마모 실험은 전기 마이크로미터를 이용하여 공구 마모의 측정 가능성을 시험한 후, 실제 적용에는 마퍼스 게이지를 이용하였다.

3.2 실험방법

실험조건은 아래의 Table 1과 같은 절삭속도, 절삭깊이, 이송속도에 대하여 행하였으며 공구는 일반적으로 가장 많이 사용되는 사각형, 마름모형의 두가지 형상을 채택하였다. 공작물은 직경 85mm에 길이가 450mm이며 공작물 재질은 SM45C이다.

Table 1 experimental condition

Tip shape	rectangular	diamond
Cutting speed(m/min)	180, 260	220
Depth of cut(mm)	1.5, 2	2.0
Feedrate(mm/rev)	0.2, 0.3	0.3

실험에 사용된 팁은 대한중석의 주철가공용 팁으로 코팅되지 않은 SNMG20종류의 KTK20 초경재료를 사용하였다. 공구홀더는 사각팁의 경우에 외경선삭용 B형 SSBCR/L로 옆날각(approach angle)과 앞날각(end cutting edge angle)이 각각 15°이다. 절입각(entering angle)은 75°이다. 마름모팁의 경우에는 절입각이 95°이다. 팁의 선단반경은 모두다 r=0.4mm이며 전주형의 칩브레이커를 가지고 있다.

각 실험에서는 약 2회-3회정도 외주절삭을 행한 후 반복적으로 공구마모를 측정한다. 동시에 절삭

력 신호와 가속도 신호는 계속해서 샘플링주파수 200Hz로 PCL718 AD카드를 통해 컴퓨터에 저장된다. 공구마모 측정은 Off-line으로 하며 비전 시스템을 이용하여 플랭크 마모만을 측정하였다.

Fig. 7은 공구마모 측정 실험에 사용된 기아중공업(주)의 CNC 선반에 장착된 마퍼스 게이지를 보여주고 있다. 가공 중에 공구동력계를 이용해서 배분력, 이송분력, 주분력 신호를 받고, 홀센서를 이용해서 이송축 모터의 3상 중 u상과 v상을 측정하였다. 그러나 기아중공업(주)의 선반의 경우에 서보 드라이버에 모터전류를 감시할 수 있는 단자가 있었기 때문에 홀센서를 사용할 필요가 없었다.

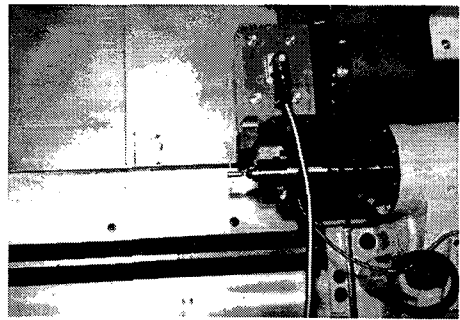


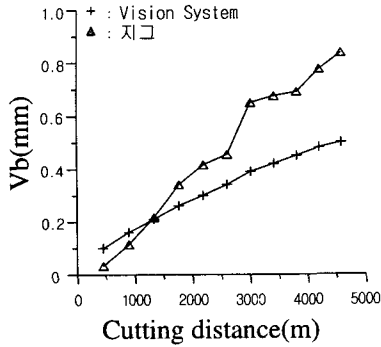
Fig. 7 The photograph of marpos probe which is built in CNC lathe

4. 실험결과

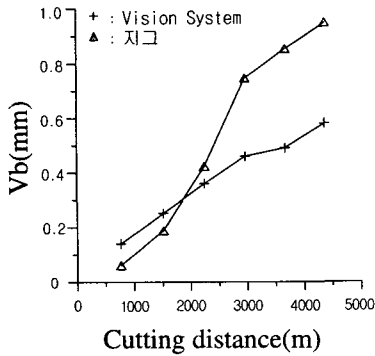
4.1 공구마모 측정 결과(전기마이크로미터)

Fig. 8은 전기 마이크로미터를 이용하여 플랭크 마모를 측정한 결과 값을 보여주고 있다. 그림에서 보면 비전 시스템으로 측정한 마모값보다 전기 마이크로미터로 측정한 마모값이 갈수록 커지는 것을 볼 수 있다. 그러나 경향성은 일치하므로, 전기 마이크로미터를 이용한 측정으로도 보정을 통하여 실제 값에 근사한 마모량을 구할 수 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 8에서 전기 마이크로미터를 이용한 마모량이 화상처리 시스템을 이용한 것보다 큰 이유는, 전기 마이크로미터의 축침이 날카롭기 때문에 마모면의 골부분으로 축침이 들어가서, 마모면의 깊이가 실제보다 크게 측정되기 때문이라고 생각된다.



(a) 주속 260m/min, 이송0.3mm/rev, 절삭깊이 1.5mm



(b) 주속 260m/min, 이송0.2mm/rev, 절삭깊이 2mm
Fig. 8 Experimental result of electromicrometer

4.2 공구마모 측정 결과 (마퍼스 게이지)

Fig. 9는 대우 PAN20 NC선반을 사용하여, 사각형 인서트팁을 이용한 공구마모 실험의 결과이다. 화상처리 시스템으로 측정된 플랭크 마모량보다 더 큰 결과가 나타났다. 그러나 경향성은 화상 처리 결과와 일치하였다. 실험은 주속 : 150 m/min, 이송 : 0.05 mm/rev, 절입 : 0.5 mm으로 행하였고, 여유각은 6° 이다.

Fig. 10은 대우 PAN20 NC선반을 사용하여, 마름모형 인서트팁을 이용한 공구마모 실험의 결과이다. 사각형 팁을 사용하였을 때와 거의 동일한 결과를 보이고 있다. 이 실험에서는 X방향의 마모량도 측정하였는데, X방향의 마모가 예상보다 큼을 알 수 있다. X방향 마모량은 그 수치 그대로가 공작물의 치수 정밀도에 영향을 미친다. 참고로 Fig.

9와 Fig. 10의 x축 레이블은 몇 번째 측정인가를 나타내는 숫자이다. 원래는 가공 거리를 사용해야 하지만 정확한 가공 거리 데이터가 현재 없다.

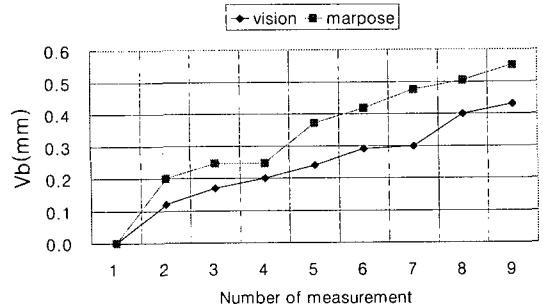


Fig. 9 Result of marpos in rectangular tip

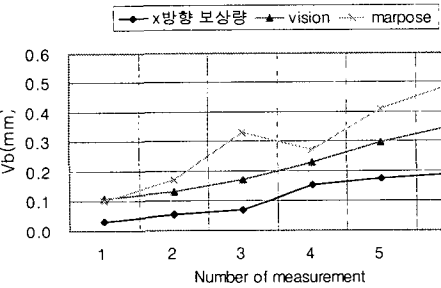
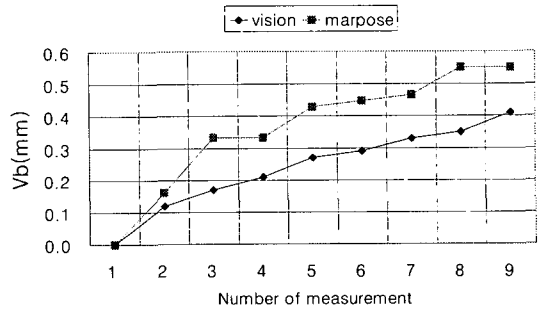


Fig. 10 Result of marpos in diamond shape tip

Fig. 11은 기아중공업 현지의 선반에 마퍼스 게이지를 장착하여 실험을 한 경우이다. 화상 처리 시스템으로 플랭크 마모폭을 측정하기 위해서는 인서트팁을 툴홀더에서 빼내야 했는데, 인서트팁을 빼내고 다시 끼워 넣으면 인서트팁의 위치가 약간 변경된다. 이 변경된 위치를 마퍼스 게이지로 측정해보면 크기는 5 μ m까지 오차가 발생하는 것을 발견하였다. 따라서, 인서트팁의 탈착 오차를 피하기 위

해, 플랭크 마모량이 0.3mm 이상 진행되었다고 판단될 때까지는 화상처리 시스템은 사용하지 않고 마퍼스 게이지 만으로 측정을 하였다. 그리고 마퍼스 게이지로 계산된 마모량이 0.3mm 이상 진행되었다고 판단되었을 때, 인서트팁을 툴홀더에서 빼내어 화상처리 시스템으로 플랭크 마모량을 확인하는 방법을 사용하였다. 따라서 Fig. 11과 Fig. 13에서 화상처리 시스템의 측정 데이터는 한 점이 되는 것이다. 마퍼스게이지의 측정 마모량이 0.4mm 정도 되면, 실제 플랭크 마모량이 0.3mm에 도달함을 알 수 있다.

Fig. 11에서 가공거리가 보통의 경우보다 짧은 이유는, 실험을 빠른 시간내에 행하기 위해, 공작물은 SM45C를 사용하고, 인서트팁은 알루미늄 가공용인 CNMG 432-23 HBA, K20, M15를 사용하였기 때문이다. 정상적인 인서트팁을 사용한다 할지라도, 달라지는 것은 가공거리가 길어지는 효과 뿐이고 다른 것은 같은 경향을 보인다. 이때 사용한 툴홀더는 여유각이 5° 이다.

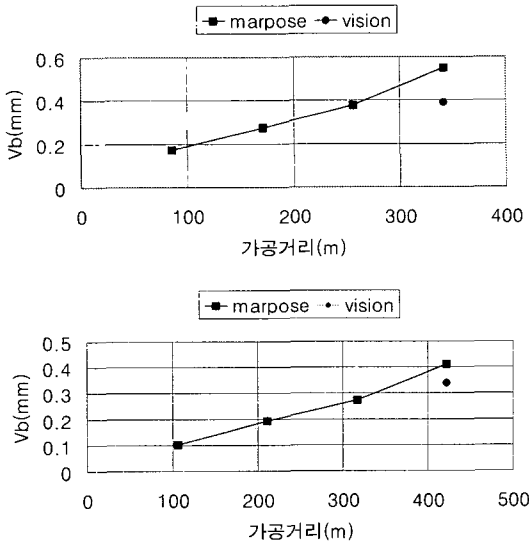


Fig. 11 Experimental result of marpos in diamond shape tip(5° case, KIA heavy industry)

대우중공업과 기아중공업의 CNC 선반을 이용한 실험 결과에서 볼 수 있듯이, 마퍼스 게이지를 이용한 마모 측정이 화상처리 시스템을 이용한 것보다 크게 측정되었다. 그 이유는, 실제 가공시에 절삭력에 의한 툴홀더의 비틀림 변형 때문에 여유

각이 증가했다고 가정할 수 있다.

따라서 가공시의 실제 여유각을 정확히 측정해서 플랭크 마모 폭을 계산해야 한다. 이것을 위해서 Mitutoyo 표면 거칠기 측정기를 이용하여 플랭크면의 형상을 측정한 결과를 Fig. 12에 도시하였다. 원래 평면이어야 할 부분이 플랭크면의 마모로 인해 여유각만큼 꺾인 것을 알 수 있다. 측정은 삼회 실시하여 평균을 내어 구하였다. 결과값이 측정시의 오차로 약간씩 다르게 나왔지만 평균 5.73°가 나왔다.

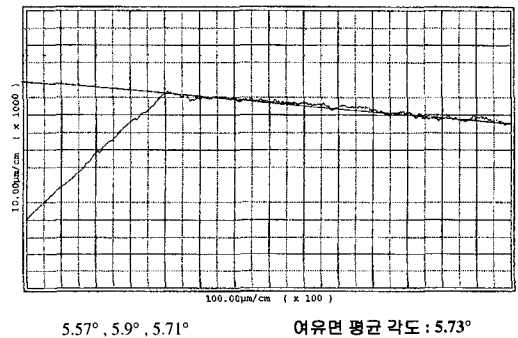


Fig. 12 The profile of flank surface from surface tester

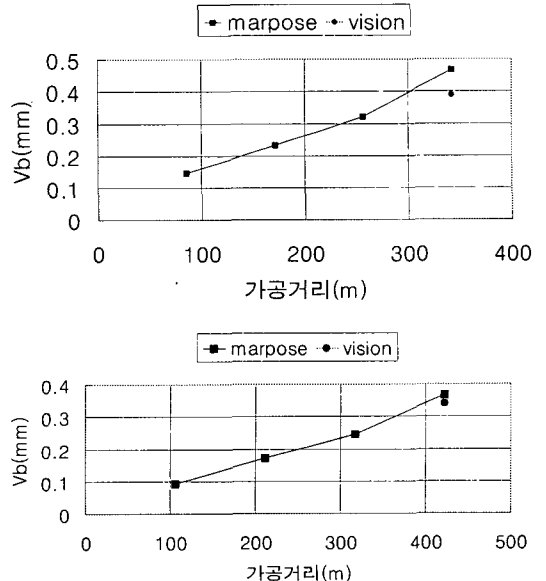


Fig. 13 Experimental result of marpos in diamond shape tip(5.73° case)

이렇게 측정된 실제 가공시의 여유각을 이용하여 다시 플랭크 마모량을 계산한 결과 그래프를 Fig. 13에 도시하였다. 이 값들은 여유각을 보정하기 전과 비교해 볼 때 현저히 개선된 것을 알 수 있다. Fig. 13의 실험 조건은 주속이 150mm/min, 피드가 0.2 mm/rev, 그리고 절삭깊이 2mm이다.

5. 결론

본 논문에서는 현재까지 화상 처리 방식에 의존해 오던 마모 측정 방법을 접촉식 센서를 이용, 플랭크 마모면의 깊이를 측정하고, 공구의 여유각을 이용하여 플랭크 마모면의 폭을 구하는 방법을 제시하였다. 실제 가공 현장에서는, 기존 화상 시스템은 절삭유나 칩에 의한 열악한 작업 환경 하에서는 측정 자체가 불가능한 단점이 있지만, 제시된 방법을 사용하면, 이러한 단점을 극복하고 온라인 측정을 가능케 하므로 수시로 공구 마모를 측정하여 보정하거나 공구 교환시기를 가르쳐 줄 수 있게 된다. 이러한 목적 가운데 연구를 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공구 마모의 검출에 전기 마이크로미터를 이용하여 터치식 측정의 가능성을 타진한 결과 가능성을 확인하였다.
2. 공구 플랭크면의 형상을 측정하여, 실제 가공시에는 절삭력에 의한 공구의 변형 때문에, 공구가 제작될때의 여유각보다 더 증가된 여유각으로 가공이 이루어짐을 알 수 있다.
3. 비교적 저렴한 가격의 접촉식 센서인 마퍼스 게이지를 CNC 선반에 직접 장착하여 온라인으로 실험을 행하였다. 그 결과로 비전 시스템을 이용한 실제 마모량에 거의 근사한 값을 구해 낼 수 있었다.

참고문헌

1. 김태용, 최덕기, 주종남, 김종원, "이송모터 전류 감지를 통한 절삭력의 간접측정과 절삭공정 감시 및 제어에의 응용," 한국정밀공학회지, 제13권, 제2호, pp. 133-145, 1996.
2. 김정석, 강명창, 박철, "채터진동의 인프로세스 감시를 위한 실시간 복합계측 시스템(1)," 한국정밀공학회지, 제12권, 제10호, pp. 50-56, 1995.

3. 최기홍, 최기상, "선삭공정을 위한 지능형 실시간 공구 감시 시스템에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제9권, 제4호, pp. 22-35, 1992.
4. 이재중, 박화영, "복합계측시스템을 이용한 공구 이상 검출," 한국정밀공학회지, 제10권, 제2호, pp. 95-103, 1993.
5. J. H. Lee, D. E. Kim, S. J. Lee, "Application of Neural to Flank Wear Prediction," Mechanical Systems and Signal Processing, pp. 265-276, 1996.
6. 하재훈, 이종항, 이상조, "직교좌표를 이용한 공구마모 예측용 최적 입력변수 선정," 한국정밀공학회계학술대회 초록집, 1994.