

머시닝센터용 자동공구보정시스템의 개발

정상화*, 신현성**, 김현욱***

Development of an Automatic Tool Compensation System for M/C

Sanghwa Jeong*, Hyunsung Shin**, Hyonuk Kim***

Abstract

The tool wear that is developed by long-term machining in mold manufacturing with machining center makes a severe influence to the accuracy and the surface roughness. In this reason, tool-wear supervising system which has guaranteed high accuracy and high speed is needed to improve the measurement quality. Touching probe and touch sensor are widely used to measure the tool profile at on-machine measurement. In this paper, using the newly developed electric touch point measuring system, the Automatic Tool Compensation System is developed to correct the error of tool diameter resulted from the wear, and the operating method of this system is also provided.

Key Words : Automatic Tool Compensation System(자동공구보정시스템), On-Machine Measurement(기상계측), Photo Coupler(포토키퍼러), Measuring Roll(측정롤), Mnemonic Mode(니모닉모드), Ladder(래더), Macro(매크로)

1. 서 론

머시닝센터를 이용한 금형가공 공정에서 가공시 장시간 가공에 따른 공구의 마멸은 제품정밀도 및 면 조도에 직접적 영향을 미친다. 이를 방지하기 위해서는 높은 정도와 계측신속성을 갖춘 공구마멸 감시시스템^(1,2)이 필수적이다. 절삭가공에서는 공구의 마멸로 인하여 공작물의 치수가 변화하며, 특히 자동생산 설비에서는 이러한 가공오차로 말미암아 다량의 불량품이 발생하기도 한다. 일반적으

로 가공오차는 소재의 불량, 공작기계의 결함, 공구의 불량, 공구의 파손 및 마멸과 같은 원인에 의하여 발생하며, 생산 공정이 안정되었을 경우 가공오차는 거의 대부분 공구의 마멸⁽³⁾에 의하여 발생한다.

그러므로 가공오차로 인한 불량품의 발생을 방지하기 위해 공구마멸을 감시하기 위한 여러 방법들이 제안되었다. 공구마멸에 관한 측정방법^(4,5,6)은 CCD 카메라, 레이저 센서 등으로 공구의 마멸을 측정하는 직접적인 방법과 주축 모터의 전류, 음향방출 신호, 가공면의 온도 등과 같이

* 조선대학교 기계공학부
** 광주기능대학 생산자동화과(apeshs@mail.kjpc.ac.kr)
*** 조선대학교 대학원

절삭과정 중에 발생하는 물리적 인자들을 이용하여 절삭력을 추정하고 그에 따라 공구의 마멸량을 예측하는 간접적인 방법이 있다.

일반적으로 사용되는 공구측정용 기상계측⁽⁷⁾(on-machine measurement)에는 티칭 프로브(teaching probe)와 터치센서(touch sensor)가 사용되고 있으나, 본 연구에서는 자체 개발한 전기 접촉식 계측시스템을 이용하여 공구마멸에 따른 오차보정을 자동적으로 수행하는 자동보정시스템을 개발하고 검증함으로써 자동보정시스템의 효율적 운영 방법을 제시 하고자 한다.

2. 공구마멸의 감시방법

2.1 접촉식 공구 보정시스템의 감시원리

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 짝수 날 엔드밀을 이용한 가공공정에서 측면 날과 저면 날의 면 마멸을 대상으로 한 계측방법을 제시하고 신뢰도를 평가하였다. 일반적으로 절삭에 따른 공구의 측면마멸은 Fig. 2와 같이 면마멸 폭 V_B 의 증가에 의해 절삭력이 증가하고 이에 따른 표면조도 및 치수의 불량이나 나타난다. 이러한 측면 마멸의 계측은 Fig. 3과 같이 엔드밀의 계측최대값(D_{max})은 측정물(measuring roll)의 접근속도(ν)에 의해 결정되며 실제 공구경(D)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁽¹⁾

$$D = \frac{D_{max}}{\cos\left(\frac{\omega \cdot D_{max}}{2\nu}\right)} \quad (1)$$

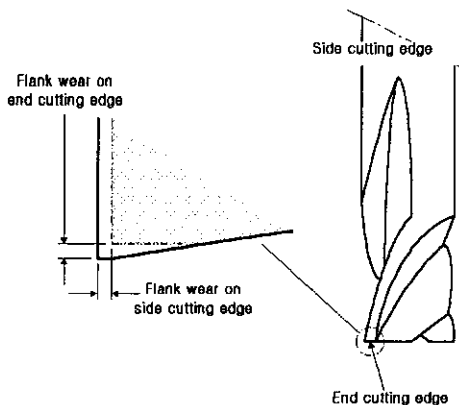
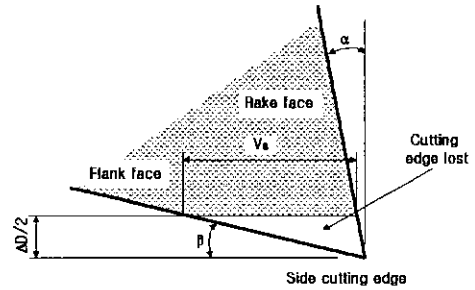


Fig. 1 Flank wear of endmill



α : Rake angle γ : Flank angle V_B : Tool wear diameter

Fig. 2 Side cutting edge loss with flank wear

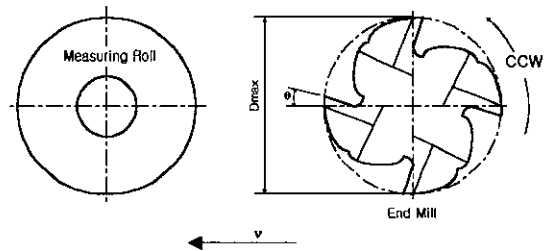


Fig. 3 Measurement of cutter diameter

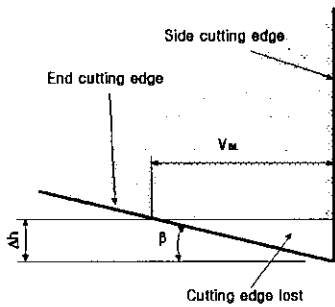
여기서 ω 는 공구각속도이고, ν 는 접근속도이다. 접촉각(θ)은 $\omega D_{max} / 2\nu$ 로 나타낼 수 있으므로 직경변화(ΔD)에 따른 면 마멸폭(V_B)은 다음과 같다.⁽¹⁾

$$V_B = \left(\frac{1}{\tan \gamma} - \tan \alpha \right) \frac{\Delta D}{2} \quad (2)$$

또한 저면 날의 계측방법은 Fig. 4와 같고 절삭에 따른 저면 마멸길이는 다음과 같이 나타낸다.⁽¹⁾

$$V_{BL} = \frac{\Delta h}{\tan \beta} \quad (3)$$

일반적인 CNC공작기계의 공구관리기능이 피드홀드, 급속이송, 휴지, 기계정지 등의 시간을 제외한 시간관리 방



β : Clearance angle
 Δh : Tool wear length(Vertical)
 V_{BL} : Tool wear length(Horizontal)

Fig. 4 End cutting edge loss by flank wear

법과 보조기능 M02와 M30기능을 이용한 횡수관리 방법이 있으나, 시간 산정 및 횡수산정의 어려움으로 인해 관리기능을 사용하지 않는 실정이다.

2.2 공구마멸 계측장치의 개발

Fig. 5는 공구의 마멸량을 계측하는 장비의 개략도이다. 마스터게이지인 톨 및 공구직경의 마멸을 측정하기 위해 상부 접촉롤을 부착하고, 공구길이의 마멸을 측정하기 위해 하부 접촉롤을 설치하였다. 측정 원리는 마스터게이지가 접촉롤에 접촉할 때 전기접점이 형성되어 신호가 발생되고 그 때의 기계좌표를 인식하여 공구의 마멸상태를 자동보정 한다. 계측장치의 상·하부의 절연성 확보를 위해 경질플라스틱(PE) 소재로 제작한 절연체를 부착하였고, 계측장치의 정밀도 향상을 위해 측정롤을 자체 제작하지 않고 정밀급 양 시일드형 볼베어링(FAG co.)을 사용하였다. 각 축에는 완충용 압축코일 스프링을 단순보 형태로 설치하였으며 절삭가공 시 칩 및 이물질 제거를 위하여 고압공기의 이송로와 측정롤 방향의 분사노즐을 제작하였다. 개발된 계측장비는 (주)통일중공업의 수직형 머시닝센터(TNV-40A) 및 컨트롤러(Sentrol-M, ROM Ver. 3.21)에 장착하여 실험장치를 구성하였다. 계측장치와 CNC 컨트롤러간에 발생하는 외란이나 과전압등을 방지하기 위해 포토커플러(TLP521-1, Toshiba co.)를 부착하였다.

측정장치의 스킵(skip)신호⁽⁵⁶⁾를 입력하기 위해 컨트롤러의 MPS4 입력 단의 X2.6단자에 연결하였으며 내부스킵 신호 G0.3이 발생되도록 컨트롤러의 PLC 진단모드를

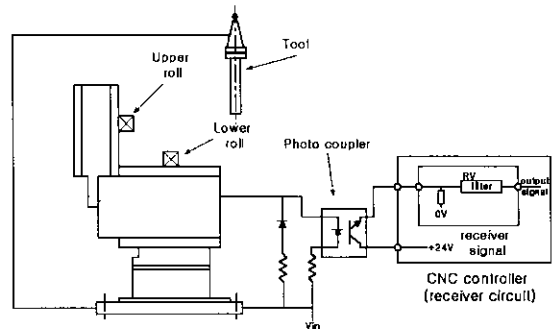


Fig. 5 Schematic diagram of the measuring device

Table 1 Specification of Photo-Coupler

Characteristics		TLP521-1
L E D D E T E C T O R	Forward Current	70mA
	Forward Current Detecting	-0.93mA/°C
	Pulse Forward Current	1 micro pulse
	Reverse Voltage	5V
	Junction Temperature	125°C
	Collector-Emitter Voltage	55V
	Emitter-Collector Voltage	7V
	Collector Current	50mA
	Collector Power Dissipation	150mW
	Collector Power Dissipation Derating	-1.5mW/°C
R	Junction Temperature	125°C
Storage Temperature Range		-55~126°C
Operating Temperature Rang		-55~126°C
Lead Soldering Temperature		260(10s)°C
Total Package Power Dissipation		250mW
Total Package Power Dissipation Derating		-2.5mW/°C
Isolation Voltage		2500Vrms

니모닉 모드(Mnemonic mode) 상태로 입력하여 이를 RAM에 저장하고, 머시닝 센터 운전을 위해 ROM 모드에서 파라미터 2001을 RAM운전방식으로 전환하여 실험하였다.

Table 1은 포토커플러의 사양이고 Fig. 6은 머시닝센터(TNV-40A)의 ROM프로그램을 전용 작성프로그램(T-CAD)을 이용하여 레더 다이어그램을 나타낸 것이다.

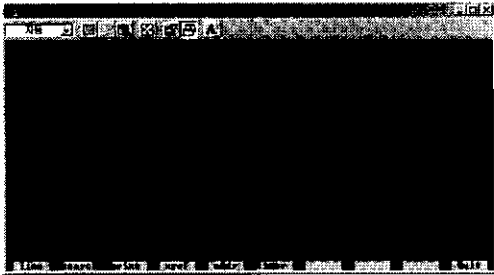


Fig. 6 Ladder diagram of TNV-40A

2.3 감시 프로그램의 개발

CNC장비의 작업자 또는 프로그램개발자가 공구측측시 사용자가 정의한 G100, G101기능을 이용할 수 있도록 CNC 프로그램에서 다양한 공구에 따른 공구보정 블록이 부가적으로 필요하며 적용된 프로그램은 다음과 같다. 사용자는 CNC 프로그램 내에서 공구 종류에 따라 초기오프셋 값을 호출하여 측정하며 가공작업 중 측정결과를 자동으로 보정된다.

G100 E0.2 H01 D01 F10(Tool length measuring)
 G101 E0.2 H01 D01 F10(Tool diameter measuring) (4)

- 여기서, E: 최대 마멸량 (mm)
- H: 초기 길이 보정량 호출
- D: 초기 직경 보정량 호출
- F: 롤 접근 속도 (mm/min)

Fig. 7은 프로그램 블록의 측정 명령에 의한 계측방식의

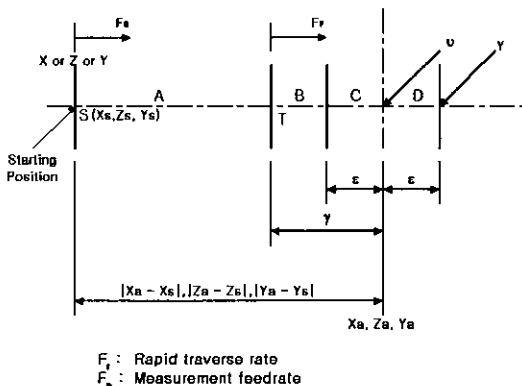


Fig. 7 Predicated measurement position

개략도⁶⁾를 나타낸 것으로서 B영역에는 식(4)의 롤 접근 속도(F)가 적용되며, C, D영역에는 식(4)의 최대마멸량(E)을 인식하여 프로그램이 분기된다.

Table 2는 공구보정에 관한 매크로 프로그램을 나타낸

Table 2 Custom macro-program for the tool compensation

<p>O9010(TOOL LENGTH OFFSET MEASUREMENT MACRO) #26=-538.31 #33=#26+#[2000+#11] #2=#[2400+#7]-282.037 G00G90X#2Y-157.23 M04S200 G00G43Z[#26+20.]H#11 G01Z[#26+5.]F300 G31Z[#26-#8]F#9 #100=#5063 #101=#26+#8 IF[#5063EQ[#33-#8]]GOTO90 IF[#5063GT[#33+#8]]GOTO91 #1=#5063-#33 G00G91Z100. G91G10L10P#11R#1 #103=#1 G90 GOTO99 N90#3000=3000 GOTO99 N91#3000=3001 N99M05 M99</p>	<p>: Z Position : X Position : Y Position : Spindle CCW : Call Offset : Rapid Feed : Measuring Feed : Tool Broken : Offset Error : Tool Offset</p>
<p>O9011(TOOL DIAMETER OFFSET MEASUREMENT MACRO) #26=-523.31 #33=#26+#[2000+#11] #2=#[2400+#7]-312.037 G00G90X[#2+20.]Y-157.23 M04S80 G00G43Z#26H#11 G01X[#2+5.]F300 G31X[#2-#8]F#9 #100=#5061 #101=#26+#8 IF[#5061EQ[#2-#8]]GOTO90 IF[#5061GT[#2+#8]]GOTO91 #1=#2-#5061 G00G91X50. G91G10L12P#7R#1 #102=#1 G90 GOTO99 N90#3000=3000 GOTO99 N91#3000=3001 N99M05 G00G91Z100. G90 M99</p>	<p>: Z Position : X Position : Y Position : Spindle CCW : Call Offset : Rapid Feed : Measuring Feed : Tool Broken : Offset Error : Tool Offset</p>

것이다. 프로그램은 크게 공구길이 보정과 공구직경 보정 모듈로 나누어지고 각각의 모듈의 흐름도는 다음과 같다.

다음과 같다.⁹⁾

$$ERR_{max} = F_m \times \frac{1}{60} \times \frac{T_s}{1000} \quad (5)$$

여기서 E_{RRmax} : 최대 측정오차 (mm)
 F_m : 측정이송속도 (mm/min)
 T_s : 샘플링 시간 (ms)

일반적인 CNC 공작기계의 샘플링시간은 0.1~2 ms이고 측정이송속도(F_m)가 100 mm/min인 경우 2 ms에서 최대측정오차는 0.003mm로 나타난다. 이러한 샘플링시간의 계측은 대한초경(주)에서 제작한 마스터 게이지를 이용하였다. Table 3은 본 실험에서 사용된 마스터 게이지의 사양과 측정결과로서 머시닝센터의 주축에 장착한 후 BT40 Shank부의 게이지 라인에서 바의 직각도 및 흔들림 등을 전기인디케이터(Mu-Checker, M401)를 이용하여 계측한 결과이다.

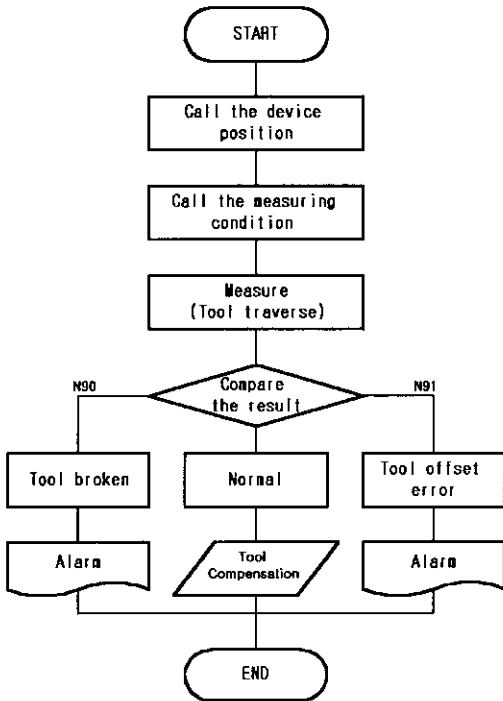


Fig. 8 Flow chart of macro program

공구마멸 계측장치의 위치 및 측정조건(공구계측장치의 위치, 주축의 회전방법, 접근방법)을 인식시키고 계측값과 비교한 후 식(4)의 최대 마멸량 범위 내의 정상마멸의 경우 자동공구보정 및 공구파손(N90) 그리고 공구 파도마멸(N91)로 분기된다.

공구파도마멸 및 공구파손이 일어날 경우에는 공구가 상 알람을 발생시키고 장비를 정지시킨다.

3. 신뢰성 평가

신뢰성을 평가하기 위하여 마스터게이지를 이용한 장치의 기기응답성을 계측하였고 Marposs 공구측정기와 기술적 운영 및 경제적 측면에서 비교 평가하였다.

실험은 개발된 시스템의 범용성 확인을 위해 수직형머시닝센터에서 수행되었고 전기접점에 따른 기기응답성은

Table 3 Specification of master gauge

Spec.	Shank	Diameter (mm)	Length (mm)	Squareness (mm)	Runout (mm)
D40XL174	BT40	40.005	174.002	0.003/130	0.004

Fig. 9는 Marposs 사의 공구측정기(T-18)와 자체제작한 측정장치이다. Fig. 10은 마스터게이지가 회전속도 0 RPM, 이송속도 100mm/min으로 접근하여 접촉물에 접촉하고 이탈할 때 공구 접촉유지 시간을 계측한 결과이다. 접촉유지 시간은 약 0.2초이다.

Fig. 11은 마스터게이지 회전수가 0 RPM일 때 측정속도 10~100mm/min 영역에서 10mm/min 간격으로 공구 접촉유지 시간을 측정한 결과이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 이송속도가 증가함에 따라 접촉유지 시간이 미세하게 증가함을 확인하였다.

Fig. 12는 Marposs사의 공구측정기와 개발된 공구측정기를 머시닝센터 각각 테이블에 설치하고 마스터게이지 회전수가 0 RPM일 때, 측정속도 10~100mm/min 영역에서 10mm/min 간격으로 동일한 위치에서 5회 측정한

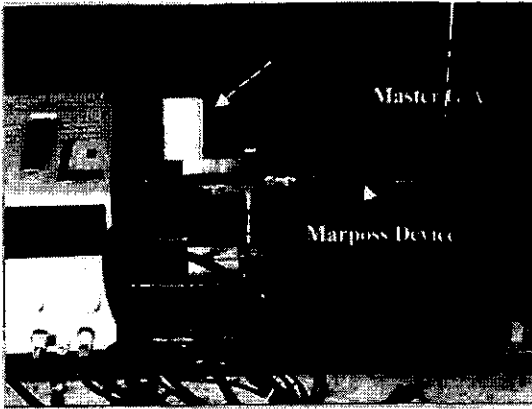


Fig. 9 Picture of marposs device and developed device

측정기는 $0.7\mu\text{m}$ 이다. Marposs 사의 공구측정기는 $70\sim 90\text{mm/min}$ 구간에서만 측정안정성을 나타냈으나 개발된 측정기는 모든 속도영역에서 균일한 계측값을 얻었고, 특히 $40\sim 50\text{mm/min}$ 구간에서 우수한 측정안정성을 보였다. 또한 식(5)에 따라 측정이송속도가 100mm/min 일 때, 측정오차값이 0.003mm 를 넘게 되면 일반적인 CNC 컨트롤러에의 최대 샘플링시간 2ms 를 벗어나게 되어 정확한 측정값을 보증할 수 없다. 그러나 개발된 공구측정기의 평균오차값은 0.0007mm 로 측정기기로서 적합함을 알 수 있었다.

Fig. 13은 마스터게이지를 10RPM에서 110 RPM까지 20 RPM 간격으로 회전시키면서 각각의 이송속도에 따른 측정 정밀도를 동일한 위치에서 계측한 결과이다. 이 결과로부터 각 영역에서 마스터 게이지를 측정 한 값은 런아웃

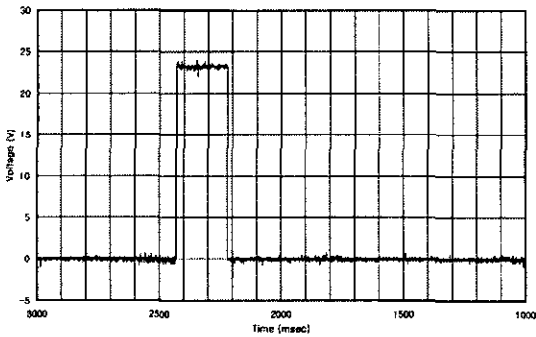


Fig. 10 Sustaining time of tool contact

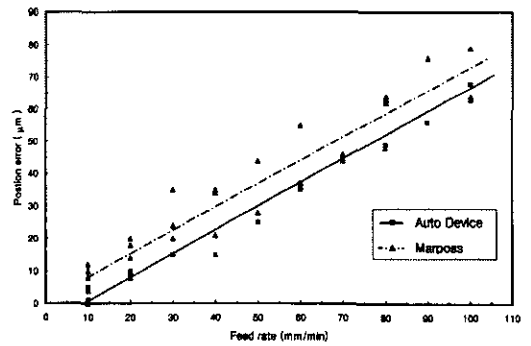


Fig. 12 Setting position error comparison between marposs device and developed device

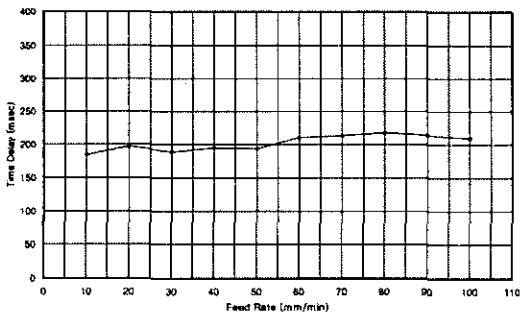


Fig. 11 Sustaining time of tool contact for feed rate

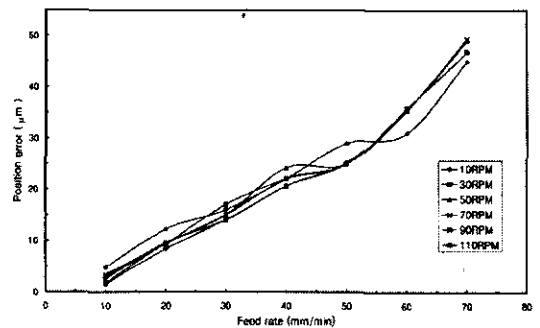


Fig. 13 Setting position error according to the revolution of master gauge

결과이다. 각 이송속도에 따른 측정오차의 평균값은 Marposs사의 공구측정기의 경우 $11.2\mu\text{m}$ 이고 개발된 공구

과 샘플링 시간 이내 임을 확인하였고 공구의 측정 정밀도 및 공구 형상에 따른 여러 위치 측정방법을 통해 측정정밀도 향상이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

경제적 측면에서 고려해보면, Marposs 사가 개발한 변위 계측방식 공구측정기는 전기접점식 계측기에 비해 제작이 어려울 뿐만 아니라 응답성 및 측정정밀도가 낮게 나타났다. 반면에 본 연구에서 개발된 시스템은 측정응답성 및 정밀도가 우수할 뿐 아니라 구조가 간단하여 제작이 용이하다. 또한 인터페이스 회로 및 전원공급장치는 PMC(Programmable Machine Controller)의 기능을 활용함으로써 회로를 단순화 시켜 NC 선택사양 구매에 따른 투자비 절감이 가능하다.

4. 결 론

본 연구는 머시닝센터의 공구 마멸량 계측과 공구파손 등을 자동검출하는 자동 공구보정 시스템 개발 및 계측에 관한 것이다. 개발된 자동 공구보정 시스템은 공구의 형상에 상관없이 공구계측이 가능하며 생산현장에서 쉽게 적용이 가능한 장점을 가지고 있다.

본 연구에서 개발된 계측기를 사용하여 범용 CNC 장비에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 연구를 통하여 각종 공구의 자동 보정이 가능한 계측장비 및 보정 프로그램을 개발하였다.
- (2) 개발된 계측기로서의 적합성을 평가한 결과 CNC 컨트롤러 제작사의 측정응답성 및 정밀도에 충족됨을 마터게이지를 이용한 실험을 통해 확인하였다.
- (3) 전 이송속도구간(10~100mm/min)에서 공구 직경을 측정된 결과 Marposs 사의 측정오차는 11.2 μ m 인데 비해 본 연구에서 개발된 계측기의 측정오차는 0.7 μ m로 응답성 및 측정정밀도가 우수하다.
- (4) 도체 공작물의 형상측정을 위한 기상계측용 센서 시스템을 적용할 수 있으므로 제품의 형상측정 시스템 구축이 가능하다.

후 기

이 논문은 한국과학재단지정 지역협력 연구센터인 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) 松村陸, 村山孝博, "エソミ加工における工具逃げ面磨耗監視システム", 情密工學會誌, Vol.65, No.11, pp. 1617~1622, 1999.
- (2) 安濟正博, 中川威雄, "10万回轉高速ミ-リソにおける超硬小輕ボルエソドミルの磨耗特性", 情密工學會誌, Vol.65, No.6, pp. 867~871, 1999.
- (3) 주상윤, 강병필, "NC선반가공에서 자동공구보정시스템의 개발", 정밀공학회지, Vol. 16, No. 11, pp. 47~54, 1999.
- (4) Chung-Shin Chang, "An experimental study of the chip flow of chamfered main cutting edge tools", Materials Processing Technology 73, pp. 196~178, 1998.
- (5) Shang-Liang Chen, "Data fusion neural network for tool condition monitoring in CNC milling machining", Machine Tools & Manufacture 40, pp. 381~400, 2000.
- (6) Tamas Szecsi, "Automatic cutting-tool condition monitoring on CNC lathes", Materials Processing Technology 77, pp. 64~69, 1998.
- (7) 김선호, 박경택, 윤영진, "오프라인 티칭에 의한 디버링 NC프로그램 생성 및 가공", 정밀공학회지, Vol. 17, No. 1, pp. 93~100, 2000.
- (8) 통일중공업(주), "Sentrol-M 취급설명서", E001 - 00990-05, pp. 3-22~3-24, 6rd ed.
- (9) FANUC LTD., "Operator's manual", B-54824E /04, 1984.