

## 머시닝센터의 자동공구보정을 위한 API모듈용 프로그램개발

정상화<sup>\*</sup>, 신현성<sup>\*\*</sup>, 김현욱<sup>\*\*\*</sup>

\* 조선대학교 기계공학부

\*\* 광주기능대 자동화 시스템과

\*\*\* 조선대학교 대학원 기계공학과

### Development of API module program for automatic tool compensation on machining center

Sanghwa Jeong<sup>\*</sup>, Hyunsung Shin<sup>\*\*</sup>, Hyonuk Kim<sup>\*\*\*</sup>

\* Dept. of Mechanical Eng., College of Eng., Chosun Univ.

\*\* Dept. of Automation system, Gwangju Polytechnic College

\*\*\* Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Chosun Univ.

#### Abstract

In general, manufacturing error originated in bad material, machine tool deflection, tool deflection, and tool breakage. When the manufacturing process is stable, the error is come from the tool wear.

In common on-machine measurement, teaching probe and touch sensor are widely used, however in this thesis the automatic tool compensation system using electric touch point measuring system is developed and evaluated, and effective operating is proposed.

#### 제 1 장 서 론

##### 1.1 연구필요성 및 배경

차세대 가공시스템은 자동화와 합리화가 극대

화되고 설치 면적이 최소화된 고밀도 무인 가공 시스템이 될 것이다. 이러한 고가의 가공시스템이 충분한 가동율을 유지하기 위한 중요한 전제 조건은, 각 시스템의 주요부위가 감시 및 진단되어 고장으로 인한 가공시스템이 불필요하게 정지하는 일이 없어야 하며, 가공물의 품질 또한 기계상에서 검사, 평가되어 초기에 설정한 품질이 균일하게 유지되도록 가공시스템의 자세제어가 병행되어야 한다.

무엇보다도 가공시스템에서의 이상상태 검출기능은 인간이 하기 어려운 장시간 동안의 상태감시를 수행함으로써 생산성을 급격히 높일 수 있다는 장점이 있다.

그러므로 가공오차로 인한 불량품의 발생을 방지하기 위해 공구마모를 감시하기 위한 여러 방법들이 제안되었다. 공구마모에 관한 측정방법은 CCD 카메라, 레이저센서 등으로 공구의 마모를 측정하는 직접적인 방법과 주축 모터의 전류, 음향방출 신호, 가공면의 온도 등과 같이 절삭과정

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

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

### 1.2 연구내용 및 방법

최근 무인화 공장의 증가 추세에 의해 CNC용 계측기의 수요가 증가되고 있으나 자동계측장치의 연구 개발이 매우 미약한 실정으로 전량 수입에 의존하고 있다. 이러한 계측기의 계측특성이 만족되는 장치의 개발을 통해 저가이면서 안정된 측정 결과치 획득이 가능한 계측시스템을 개발하였다.

Table 1 System Specification

No.	Specification	Values
1	1 Position Accuracy	Max. 1 $\mu\text{m}$ $\sigma$
2	Measuring Method	Electric Touch Point
3	Measuring Condition	G. U. I.
4	Tool Compensation Method	Automatic
5	Minimum Measuring Unit	0.001 mm
6	Electric Time Delay	Max. 10 ms

### 1.3 공구마멸 계측장치의 개발

Fig. 1은 공구의 마모를 계측하는 장비의 개략도이다. 공구길이의 마모를 측정하기 위해 프로브(4) 상부에 부착되고, 공구반경의 마모를 측정하기 위해 프로브 측면에 부착되어 측정된다. 측정 원리는 공구가 프로브에 접촉할 때 전기접

점이 형성되어 신호가 발생되고 그 때의 기계좌표를 인식하여 공구의 마모상태를 자동보정한다.

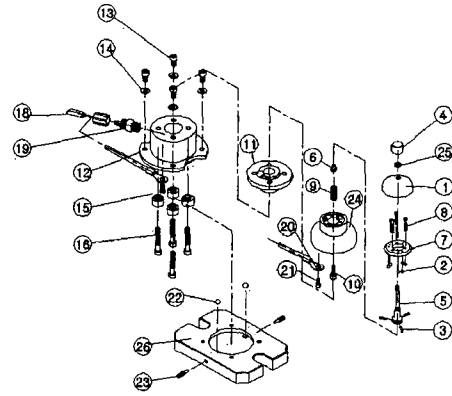


Fig. 1 The Drawing of Disassembled Measuring System

## 제 2 장 공구마멸의 감시용 소프트웨어의 개발

### 2.1 감시용 프로그램의 알고리즘

공구감시용 소프트웨어는 Fig. 2에서와 같이 작업용 프로그램내의 G100, G101 및 G102로 분기되어지며 Device Setting Mode로 최초작업 시 계측장치를 머시닝센터의 작업테이블의 여유위치에 T-Bolt로 장착하고 G100이 매크로프로그램 호출하여 계측장치의 위치를 계측한 다음 CNC 컨트롤러에 계측장치의 위치를 자동으로 입력시킨다.

머시닝센터에서 공작물을 가공하기 위하여 여러 종류의 절삭공구가 이용되며, 대부분의 작업 공구의 정보를 모른 상태에서 주축에 사용공구를 장착한 후 하이트프리세터(height pre-setter)등을 이용하여 공구정보를 얻어 MDI(Manual Data Input)방식으로 공구보정화면에 입력하여 가공을 행한다.

Fig. 3은 G102 코드에 의한 분기로 NC프로그램에 의한 절삭가공 전, 후에 자동 공구마멸감시 프로그램으로 인수(Q)에 의해 계측위치 및 계측점등이 결정되며 계측횟수(K)에 의해 각 위치의 계측횟수를 선택할 수 있다.

이러한 계측 결과는 공구의 파손과 과도한 마

떨은 내부알람이 발생되어 장비의 작동이 중지되고, 정상마멸은 공구보정을 자동으로 보정되어진다.

## 2.2 프로그램의 구조

Table 2 Variable list for used Parameters

Address	Var.	Parameters	Range	Default
A	#1	Approach Distance	0.5~10.0[mm]	5.0[mm]
C	#3	1: Tool Length 2: Tool Diameter 3: Both	1~3	3
D	#7	Tool Diameter Offset Number	1~Max	
E	#8	Measurement Position Error Width	0.05~1.00[mm]	0.5[mm]
F	#9	Measurement Feed	5~100[mm/min]	10[mm/min]
H	#11	Tool Length Offset No	1~Max	
I	#4	Measurement Move Distance	1~10.0[mm]	10.0[mm]
J	#5	Approach Feed	200~1000[mm/min]	600[mm/min]
K	#6	Measurement Repeat Time	1~3	1
M	#13	M04 Non-order Spindle stop	4	
Q	#17	Position Direction of Measuring Tool Diameter	1~7	1
R	#18	Measurement Near Distance for G00	5~50[mm]	20[mm]
S	#19	Spindle RPM	10~200[RPM]	50[RPM]
W	#23	Diameter Measurement Z Axis Position	2~30	7[mm]

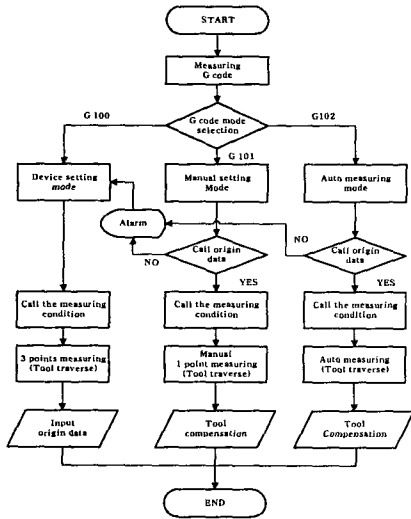


Fig. 2 Measuring Macro G-code Program Flowchart

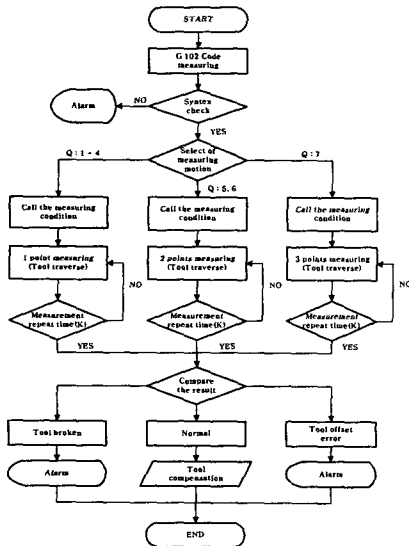


Fig. 3 Auto Measuring Mode Flowchart

Table 2는 사용 G code 사용인수와 변수 관련 표이다.

Auto Setting Mode는 G101 코드에 의한 분기로 NC프로그램에 의한 절삭가공 전, 후에 자동 공구마멸 및 파손을 감시할 수 있는 기능이다.

감시 프로그램으로 인수(Q)에 의해 계속 진행 방향, 1위치측정 1에서 4방향과 2위치측정 5, 6방향 및 3위치 7방향으로 반경을 계속한다.

인수(K)에 의해 각 위치의 계속횟수를 선택할 수 있어 계속정밀도를 향상시키도록 프로그램되었으며, 공구회전각( $\theta$ )에 의해 실제공구에 비해 작은 계속 값이 측정되므로 다회 측정 시 최대값이 선정되도록 프로그램 하였다.

G102 D H [A ][C ][E ][J ][K ]  
[Q ][W ][R ][F ][S ][M04]

여기서, D, H : 필수입력인수  
 (미입력시 Alarm 발생)  
 F, A : 선택입력사항

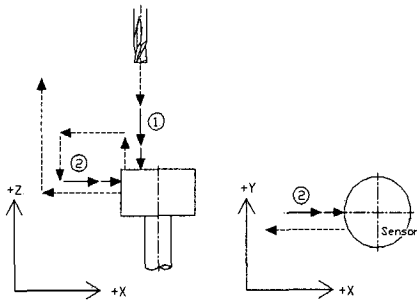


Fig. 4 Tool Movements at Auto Measuring Mode

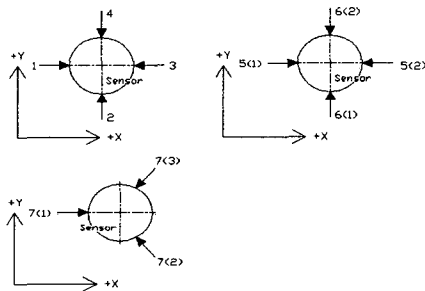


Fig. 5 Measuring Point at Auto Measuring mode

충돌방지여유를 포함한 ①번 위치 급속이동하고 접근속도(approach feed) 200~1,000 mm/min 접근한 다음 계측속도(measurement feed) 5~100 mm/min로 접촉하여 X2.6 시그널 검출되면 ①번 위치로 Z축 급속이송 한 후 길이보정이 되며, ②번 계측위치로 이동되어 자동운전개시로 반경보정이 된다.

여기에서 인수(Q)는 머시닝센터의 테이블 위의 공작물 등의 간섭이 없는 여유공간과 측정정밀도에 따라 사용할 수 있도록 1~7위치를 변경하여 측정되도록 프로그램 되어있다.

인수(K)는 측정속도 개시부로 급속 이송하여 여러 번 측정이 가능하다.

### 2.3 CNC 장비의 내부 프로그램의 개발

Fig. 6은 Device Setting Mode와 Manual Measuring Mode의 작업 시 Interlock처리결과를 T-CAD를 이용하여 Ladder diagram을 확인한 결과이다.

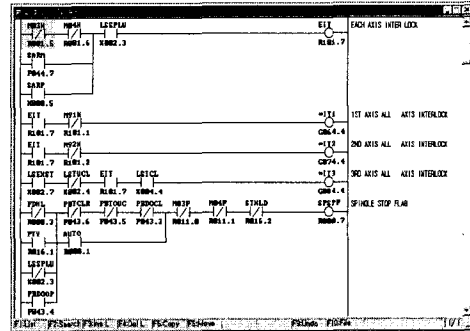


Fig. 6 Ladder diagram for Interlock Process of each Axis

Device Setting Mode와 Manual Measuring Mode의 작업 시 Y축의 변수 #501에 값이 주어진 계측명령에 의해 Y축이 계측위치에 정렬하여 측정모드가 핸들모드(MPG)로 계측위치로 근접시킨다.

이 경우 정렬된 Y축을 작업자의 실수로 인해 Y축 정렬이 바뀌는 경우가 발생되어 계측정밀도에 악영향을 미친다.

이러한 Y축 정렬의 변경을 방지하기 위해 Fig. 6과 같이 축의 Interlock처리하고 보조기능, M91(Miscellaneous function)을 Table 3과 같이 보조기능을 추가시켰다.

Table 3 Extended Miscellaneous function Code

MCode	Address Bit	Function	Remark
M90	M90X(R100.0)	Each Axis Interlock Cancel Auto Mode Return	
M91	M91X(R100.1)	X Axis Interlock Handle Mode Selection	
M92	M92X(R100.2)	Y Axis Interlock Handle Mode Selection	
M93	M93X(R100.3)	Handle Mode Selection	
M94	M94X(R100.4)	All Axis Interlock Cancel	
M95	M95X(R100.5)	All Axis Interlock	Anti Sensor Crash

또한 Auto Measuring Mode의 작업 시 기계적 간섭과 절삭 칩(chip)에 의한 합선 등의 간섭을 검출하여 기계에 의한 계측기의 충돌파손을 방지시킬 수 있는 보조기능 M95의 시퀀스를 설계하였다.

### 제 3 장 개발 소프트웨어의 신뢰도평가

#### 3.1 감시용 소프트웨어 이상운전의 검출특성

각 모드의 작업 시 개발 Macro프로그램과 시퀀스에 의한 이상운전 시 알람상태를 CRT에 표시하기 위해 Table 4와 같이 Alarm 출력용 Macro 프로그램을 작성하고 이상운전에 따른 Alarm발생을 확인하였다.

Table 4 Alarm List of Operation Error

ALARM	ALARM MESSAGE	Remark
3000	Start Point Error	
3001	Tool Offset Error	
3002	H Tool Length Offset No Error	
3003	D Tool Diameter No. Error	
3004	S Spindle Rpm Error	
3005	Measurement Distance Error	
3006	Tool Length Data 0 Error	
3007	Tool Diameter Data 0 Error	
3008	#503 Data Error[3-50]	
3009	Sensor On Error	
3010	Measurement Feed Error	
3011	Tool Broken	
3012	E Error[0.1-0.5]	
3013	A Approach Distance Error[0.5-5.]	
3014	J Approach Feed Error[200-600]	
3015	K Measurement Repeat Time Error [1-3]	
3016	Q Diameter Measurement Type Error [1-7]	
3017	W Diameter Measurement Z Axis Position Error[2-30]	
3018	F Measurement Feed Error[10-100]	
3019	S Spindle Rpm Error[10-300]	
3020	R Approach Position Error[5-50]	
3021	C Length , Diameter Select Error[1-3]	

#### 3.2 Auto Measuring Mode의 운전특성

Auto Setting Mode는 G101 코드에 의한 분기로 NC프로그램에 의한 절삭가공 전, 후에 자동 공구마멸 및 파손을 감시할 수 있는 기능이다.

감시 프로그램으로 인수(Q)에 의해 계측 진행 방향, 1위치측정 1에서 4개 방향과 2위치측정 5,

6방향 및 3위치 7방향으로 반경을 계측한다.

Fig. 7은 Q=1 위치에서 각각의 K=3 인수에 공구는 2날 End-mill을 140~200RPM에서 계측속도 10~100mm/min으로 계측한 결과로 Fig. 8의 2날 End-mill의 고속 RPM에서 불안정한 계측특성을 보였으나 저속 40mm/min이하 계측속도 구간에서 안정된 계측특성을 확인하였다.

이에 비해 4날 End-mill 경우 주축속도의 저속 영역범위가 계측속도 50mm/min까지 안정된 특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

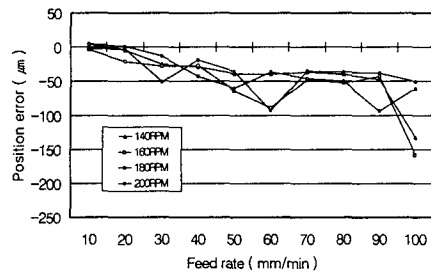


Fig. 7 Position Error for Measuring Condition at K3 using 20mm 2 Flute End-mill

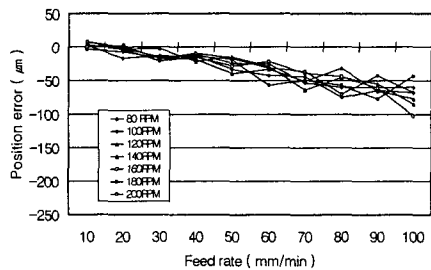


Fig. 8 Position Error for Measuring Condition at K3 using 20mm 4 Flute End-mill

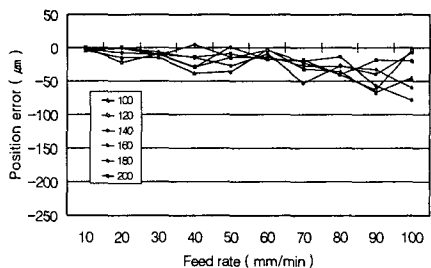


Fig. 9 Position Error for Measuring Condition at K1 using 20mm 4 Flute End-mill

Fig. 9는 Q=7(3점 측정) 위치에서 K=1 인 수에 직선회귀(linear regression)하여 얻은 식을 매크로프로그램에 추가하여 작성된 프로그램을 이용해 공구는 4날 End-mill을 100~200RPM에서 계측속도 10~100mm/min으로 계측한 결과이다.

K=1에 의해 각점을 1회 측정된 결과 60mm/min이하 계측속도 구간에서 결과 값이 이동되어 계측된 결과를 얻었으나, 60mm/min 이상에서는 과도한 계측속도로 인해 측정결과의 보간정밀도가 불량함을 알 수 있었다.

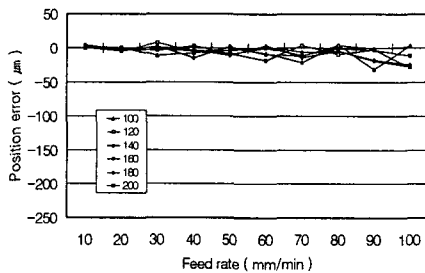


Fig. 10 Position Error for Measuring Condition at K3 using 20mm 4 Flute End-mill

Fig. 10은 Q=7에서 K=3계측 결과로 고속계측속도가 필요한 경우 K량을 증가하여 측정특성을 안정시켜 고속측정에 따른 작업능률을 향상시킬 수 있다.

#### 제 4 장 결 론

본 연구는 머시닝센터의 공구 마모량 계측과 공구파손 등을 자동검출하는 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 범용 CNC 장비에 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 본 연구를 통하여 각종 공구의 자동 보정이 가능한 계측장비 및 보정 프로그램을 개발하였다.
2. 1위치에서 각각의 K=3 인수에서 2날 End-mill

은 저속 120RPM 이하에서 불안정한 계측특성을 보였으나, 저속 40mm/min이하 계측속도 구간에서 안정된 계측특성을 확인하였다.

이에 비해 4날 End-mill 경우 주축속도 80~200RPM 범위에서 계측속도 50mm/min까지 안정된 계측특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

3. 본 연구에서는 머시닝센터에서 공구감시에 필요한 Device setting, Manual setting 및 Auto measuring용 프로그램의 개발과 신뢰도를 확보할 수 있었다.

4. 도체 공작물의 형상측정을 위한 기상계측용 센서 시스템을 적용할 수 있으므로 제품의 형상 측정 시스템 구축이 가능하다.

#### References

1. 산업자원부/과학기술부, "PC-NC 응용가공 기계의 지능화 기술 개발에 관한 연구", 최종보고서, PP5~25, 2000.4
2. 과학기술부, "고기능 자율가공 시스템개발" 한국기계연구원, UNC568-2078-C, PP53~101, 1998.4
3. 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", 精密工學會誌, Vol.65, No.11, pp1617~1622, 1999
4. 주상윤, 강병필, "NC선반가공에서 자동공구보정 시스템의 개발", 정밀공학회지, Vol. 16, No. 11, pp47~54, 1999.11
5. 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ールエソドミルの磨耗特性", 精密工學會誌, Vol.65
6. 통일중공업(주), "Sentrol-M 취급설명서", E001-00990-05, pp 3-22~3-24, 6rd ed.
7. FANUC LTD., "Operator's manual", B-54824E/04, 1984
8. ATMEL, "Technical Manual(8-bit Micro controller with 2K Bytes Flash)", AT89C2051, pp1~14, Rev. 0368E - 02/00
9. Infineon Technologies, "Technical Manual (No Base Connection Photo transistor Optocoupler)", Moc8103, 1-800-777-4363, 1999.11