

## 공구감시 시스템의 보정장치 개발과 평가에 관한 연구

정상화<sup>+</sup>, 신현성\*, 차경래<sup>++</sup>

(논문접수일 2002. 5. 23, 심사완료일 2002. 7. 16)

### Development and Evaluation of Automatic Tool Compensation System

Sang-Hwa Jeong<sup>+</sup>, Hyun-Sung Shin\*, Kyoung-Grae Cha<sup>++</sup>

#### Abstract

In general, manufacturing error is originated from bad material, machine tool deflection and tool breakage. When the manufacturing process is stable, the most of error come from the tool wear. In common on-machine measurement, teaching probe and touch sensor are widely used, however in this paper the electric touch point type automatic tool compensation system is developed, the performance of it is validated, and effective operating is proposed.

**Key Words :** Automatic Tool Compensation(자동공구보정), On-machine Measurement(기상계측), Touch Sensor(접촉식 센서), Height Pre-setter(하이트 프리세터)

## 1. 서론

### 1.1 연구필요성 및 배경

차세대 가공시스템<sup>(1,2)</sup>은 자동화와 합리화가 극대화되고 설치 면적이 최소화된 고밀도 무인 가공시스템이 될 것이다. 이러한 고가의 가공시스템이 충분한 가동율을 유지하기 위한 중요한 전제조건은, 각 시스템의 주요부위가 자동으로 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 추

+ 조선대학교 기계공학부

\* 주저자, 광주기능대학 자동화 시스템과(apeshs@kjpc.ac.kr)

주소: 500-170 광주시 북구 운암동 산58-1, Tel: 062-510-9638

++ 조선대학교 대학원 기계공학과

정하고 그에 따라 공구의 마모량을 예측하는 간접적인 방법이 있다.

일반적으로 사용되는 공구측정용<sup>(3)</sup> 기상계측(on-machine measurement)에는 티칭 프로브(teaching probe)와 터치센서(touch sensor)가 사용되고 있으나, 본 연구에서는 자체 개발한 전기 접촉식 계측시스템을 이용하여 공구마모에 따른 오차보정을 자동적으로 수행하는 자동보정시스템을 개발하고 검증함으로써 자동보정시스템의 효율적 운영 방법을 제시하고자 한다.

### 1.2 개발내용

최근 무인화 공장의 증가 추세에 의해 CNC용 계측기의 수요가 증가되고 있으나 자동계측장치의 연구 개발<sup>(4,5)</sup>이 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	Position Accuracy	Max. 1 $\mu$ m
2	Measuring Method	Electric Touch Point
3	Measuring Condition	A. P. I.
4	Tool Compensation Method	Automatic
5	Minimum Measuring Unit	0.001mm
6	Electric Time Delay	Max. 10ms

### 1.3 공구마멸 계측장치의 개발

Fig. 1은 공구 보정시스템의 분해도를 나타낸 것이다. 각각의 파트에 대한 설명은 다음과 같다.

- 계측장치의 상하절연판(11)에는 상·하부의 절연성 확보를 위해 기계적 강도와 기계가공성이 우수한 폴리아세탈 소재(POM)로 제작한 절연체가 부착되었다.
- 프로브(4)는 공구의 접촉으로 인한 마멸을 방지하기 위해 고속도 공구강재 SKH3종을 사용하였고, 경도 H<sub>Rc</sub> 64이상으로 담금질 처리한 후 뜨임처리하였다. 또한 정밀도 향상을 위해 연삭 후 래핑 처리하여 제작하였다.
- 베이스부는 스테인레스강판 SUS304L 소재를 용체화처리(1010~1150℃로 가열후 수냉)하여 기계가공하고 연삭처리 하였다.
- 베이스와 프로브간의 평행도를 5 $\mu$ m 이내로 조절하여 조

- 립하였고, 외부 몸체는 기계적 강성을 주기 위해 크롬몰리브덴 강재 SCM4종 정도 H<sub>Rc</sub> 30~36으로 담금질과 뜨임처리하였다. 그리고 외부의 미관을 고려하여 샌드블라스팅 후 두께 7 $\mu$ m이상으로 경질크롬도금처리하였다.
  - 이러한 열처리과정에서 지지판(7)은 두께 4.3mm에 불과하여 열처리로 인한 변형과 기계가공의 어려움이 발생되므로 열처리 공정에서 제외시켰다.
  - 계측장치의 복원정밀도 향상을 위해 조절핀(3)은 자체 제작하지 않고 정밀급 니이들(NSK co.)을 사용하였다.
  - 니이들 위에 거치 되어지는 볼(2) 또한 정밀급으로 사용하였고 이탈방지를 위해 금속점착제(LOCTITE #609)를 이용해 부착하였다.
  - 프로브 복원 정밀도를 유지하기 위해 코일스프링(9)을 0.5mm~0.8mm의 0.1mm 간격의 선경으로 각각 제작하였고 또한 유효 감김 수를 변경하여 복원특성을 확인하였다.
  - 리드선(18)은 폭넓은 온도범위의 극초유연성 파워체인 케이블 LAPP사의 케이블 0027856T를 사용하였으며, CNC 운동특성을 고려하여 최소곡률반경의 5배까지 축소 가능하다.
  - CNC에서 발생하는 칩(chip) 등의 이물질에 파손을 방지하기 위해 FESTO사의 금속피복호스(Perbunan with metal braiding) PX-4를 사용하였고 이를 연결하기 위해 금속 커넥터 CX-1/8-6을 사용하였다.
- 사용된 계측장비는 (주)통일중공업의 수직형 머시닝센터(TNV-40A) 및 컨트롤러(Sentrol-M, ROM Ver. 4.92)에 장착하여 실험장치를 구성하였다.

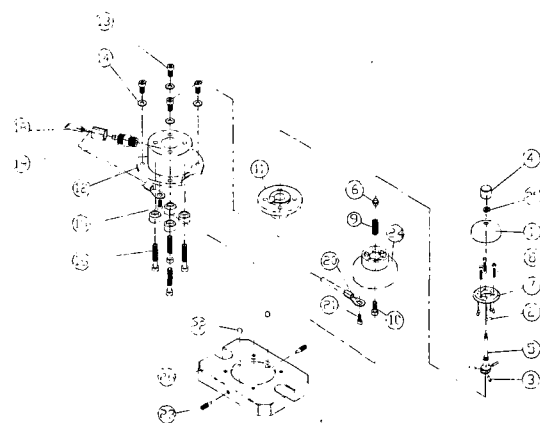


Fig. 1 Drawing of disassembled measuring system

절삭공구는 공구길이의 마모를 측정하기 위해 프로브(4) 상부에 접촉되고, 공구반경의 마모를 측정하기 위해 프로브 측면에 접촉된다. 측정 원리는 공구가 프로브에 접촉할 때 전기접점이 형성되어 신호가 발생되고 그 때의 기계좌표를 인식하여 공구의 마모상태를 자동보정 한다.

## 2. 공구마멸의 감시용 소프트웨어의 개발

### 2.1 감시용 프로그램의 알고리즘

머시닝센터에서 공작물을 가공하기 위하여 여러 종류의 절삭공구가 이용되며, 대부분의 작업공구의 정보가 없는 상태에서 주축에 사용공구를 장착한 후 하이트 프리세터(height pre-setter)등을 이용하여 공구정보를 얻어 MDI(Manual Data Input)방식으로 공구보정화면에 입력하여 가공을 수행한다. 기존의 MDI 방식은 측정시간이 길어지고 정밀도가 낮으며 공정이 복잡하여 기계가동율을 저하시킨다.

본 개발 시스템에서는 세가지 측정모드를 프로그램화하여 자동으로 온라인 상에서 공구보정이 이루어지므로 측정시간의 단축, 정밀도의 향상 및 기계가동율을 극대화시킬 수 있다.

공구감시용 프로그램은 Fig. 2에서와 같이 작업용 프로그램 내에서 G100, G101 및 G102로 분기된다. 프로그램의 세가

지 측정모드는 장치설정 모드(Device Setting Mode(G100)), 수동측정 모드(Manual Measuring Mode(G101)) 및 자동측정 모드(Auto Measuring Mode(G102))로 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

#### - 장치설정 모드(G100):

계측장치를 머시닝센터의 작업레이블의 여유위치에 T-Bolt로 장착하였을 때 장치설정 모드로 최초작업 시 매크로 프로그램을 호출하여 계측장치의 위치를 계측한 다음 CNC 제어기에 계측장치의 위치를 매크로 변수에 자동으로 입력시킨다.

#### - 수동측정 모드(G101):

수작업에 의한 공구의 초기설정을 1 위치 계측하고 공구 데이터를 자동으로 입력하여 보정된 값으로 바로 가공을 수행할 수 있다.

#### - 자동측정 모드(G102):

Fig. 3은 CNC프로그램을 이용한 절삭가공 전·후에 자동으로 공구의 마멸을 감시하는 프로그램으로, 인수(Q)에 의해 계측위치 및 계측점 등이 결정되며, 계측횟수(K)를 조정하여 각 위치의 계측횟수를 선택할 수 있다. 공구의 파손과 과도한 마멸은 내부 알람이 발생되어 장비의 작동이 중지되고, 정상마멸시는 공구의 보정 데이터를 자동으로 제어기에 입력시켜 공구보정을 수행한다.

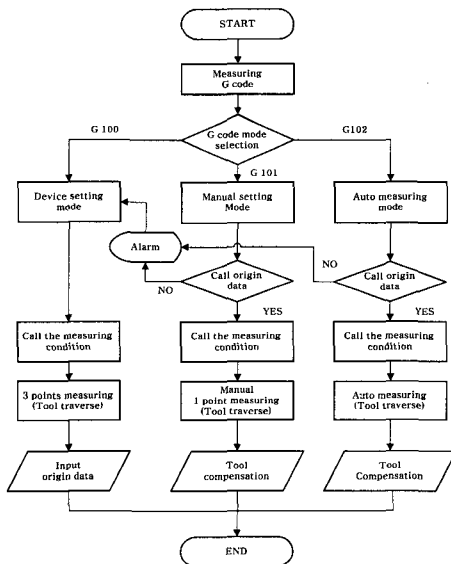


Fig. 2 Measuring macro G-code program flowchart

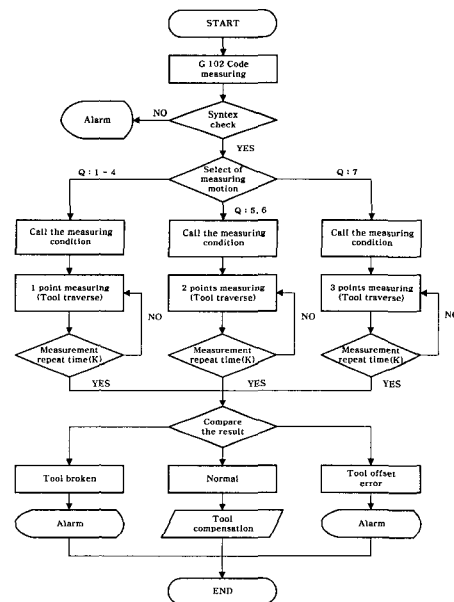


Fig. 3 Auto measuring mode flowchart

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 ~ 300[RPM]	0[RPM]
W	#23	Diameter Measurement Z Axis Position	2 ~ 30	7[mm]

2.2 프로그램의 구조

Table 2는 사용 G code 사용인수와 변수 관련 표이다. 자동측정 모드는 G102 코드에 의한 분기로 NC프로그램에 의한 절삭가공 전, 후에 자동 공구마멸 및 파손을 감시할 수 있는 기능이다.

감시 프로그램으로 인수(Q)에 의해 계측 진행방향, 1위치 측정 1에서 4방향과 2위치측정 5, 6방향 및 3위치 7방향

으로 반경을 계측한다.

인수(K)에 의해 각 위치의 계측횟수를 선택할 수 있어 계측정밀도를 향상시키도록 프로그램되었으며, 공구회전각에 의해 실제공구에 비해 작은 계측 값이 측정되므로 다회 측정 시 최대값이 선정되도록 프로그램 하였다.

```
G102 D__H__[A__][C__][E__][J__][K__]
      [Q__][W__][R__][F__][S__][M04]
```

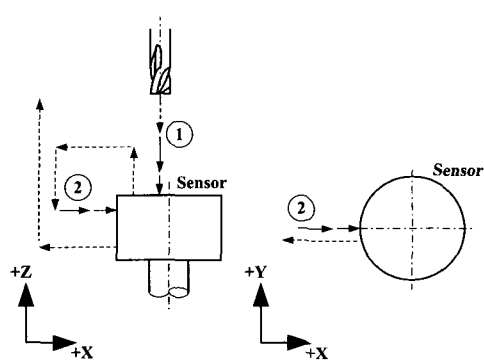


Fig. 4 Tool movements at auto measuring mode

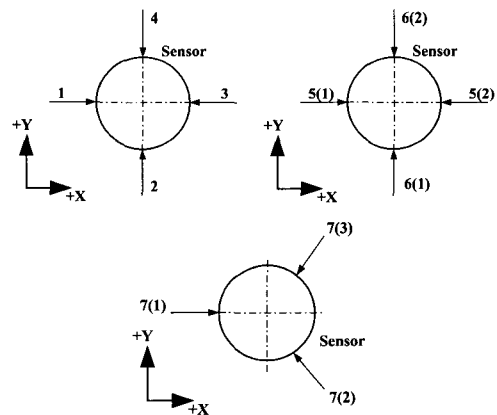


Fig. 5 Measuring point at auto measuring mode

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

Fig. 4에서 나타난 것처럼 충돌방지여유를 포함한 ①번 위치로 급속 이동하고 접근속도 200~1,000mm/min로 접근한 다음, 계측속도 5~100 mm/min로 접촉하여 X2.6 시그널 검출되면 ①번 위치로 Z축 급속이송 한 후 길이보정이 되며, ②번 계측위치로 이동되어 자동운전개시로 반경보정이 된다<sup>(10)</sup>.

Fig. 5는 인수 Q에 따른 측정위치를 나타낸 것이다. 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 장치설정 모드와 수동측정 모드의 작업 시 Interlock 처리결과를 T-CAD<sup>(6,7)</sup>를 이용하여 Ladder diagram을 확인한 결과이다.

장치설정 모드와 수동측정 모드의 작업 시 계측명령에 의해 공구를 Y축만 자동으로 계측위치에 정렬시킨 다음, 자동모드에서 핸들모드(MPG)로 전환되어 작업자에 의해 계측하고자 하는 위치로 공구를 접근시킨다.

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

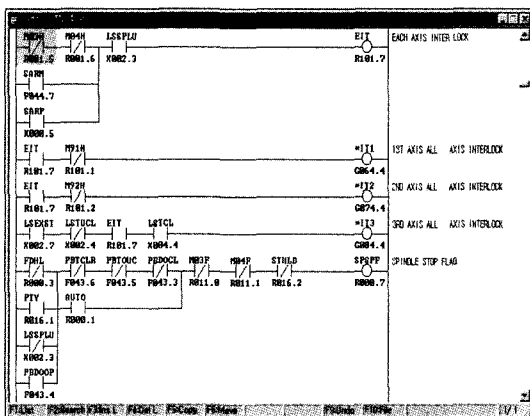


Fig. 6 Ladder diagram for interlock process of each axis

Table 3 Extended miscellaneous function code

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

정렬의 변경을 방지하기 위해 Fig. 6과 같이 각축을 Interlock 처리하고 Table 3과 같이 보조기능을 추가시켰다.

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

## 3. 개발 소프트웨어의 신뢰도평가

### 3.1 감시용 소프트웨어 이상운전의 검출특성

각 모드의 작업 시 개발 Macro프로그램과 시퀀스<sup>(8,9)</sup>에 의한 이상운전 시 알람상태를 CRT에 표시하기 위해 Table 4와 같이 알람 출력용 Macro 프로그램을 작성하고 이상운전에 따른 알람발생을 확인하였다.

### 3.2 자동측정 모드의 운전특성

자동측정 모드는 G102 코드에 의한 분기로 NC프로그램에 의한 절삭가공 전, 후에 자동 공구마멸 및 파손을 감시할 수 있는 기능이다. 감시 프로그램으로 인수(Q)에 의해 계측 진행방향, 1위치측정 1에서 4개 방향과 2위치측정 5, 6방향 및 3위치 7방향으로 반경을 계측한다.

Fig. 7은 Q=1, K=3, 2날 엔드밀의 조건으로 140~200RPM에서 20RPM씩 증가시키면서 계측속도 10~100mm/min으로 계측한 결과이다. 이 결과로부터 계측특성은 고속 회전에서는 불안정하였지만 저속 40mm/min이하 구간까지는 안정함을 알 수 있었다. 이에 비해 4날 엔드밀 경우, Fig. 8에서와 같이 50mm/min 구간까지 안정된 특

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[0.05-1.0]	
3013	A Approach Distance Error[0.5-10]	
3014	J Approach Feed Error[200-1000]	
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]	

성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 4날 엔드밀의 경우 주축 회전수에 따른 각각의 측정 에러값의 편차는 최대 22 $\mu\text{m}$  이내임을 알 수 있었다.

Fig. 9는 Q=7, K=1, 4날 엔드밀, 100~200RPM에서 계측속도 10~100mm/min조건으로 측정할 때 그 결과를 직선회귀(linear regression) 매크로프로그램을 이용하여 계측한 결과이다.

K=1에 의해 각 점을 1회 측정된 결과 60mm/min이하 구간까지는 보간된 결과를 얻을 수 있었으나, 70mm/min 이상에서는 과도한 계측속도로 인해 최대측정오차가 50 $\mu\text{m}$ 까지 발생함을 알 수 있었다.

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

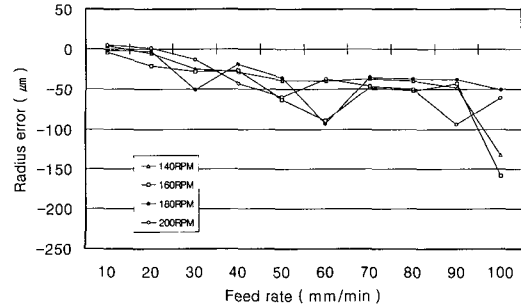


Fig. 7 Radius error for measuring condition at K3 using 20mm 2 flute end-mill

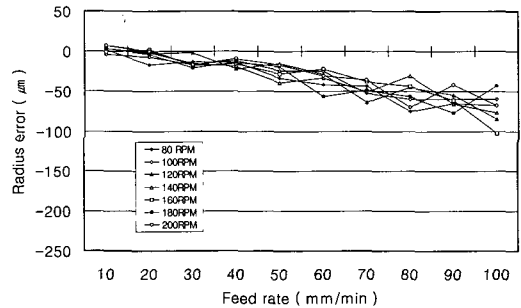


Fig. 8 Radius error for measuring condition at K3 using 20mm 4 flute end-mill

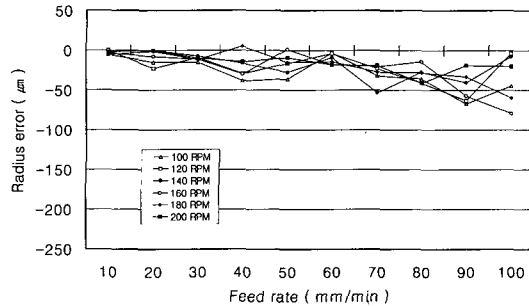


Fig. 9 Radius error for measuring condition at K1 using 20mm 4 flute end-mill

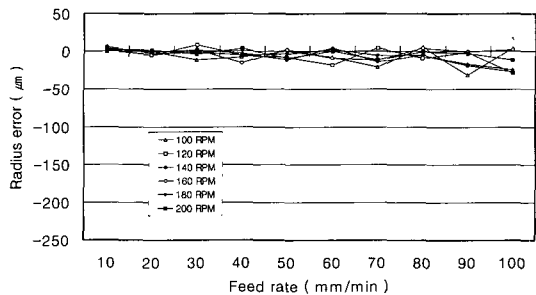


Fig. 10 Radius error for measuring condition at K3 using 20mm 4 flute end-mill

#### 4. 결론

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 엔드밀은 저속 120RPM 이하에서 불안정한 계측특성을 보였으나, 저속 40mm/min이하 계측속도 구간에서 안정된 계측특성을 확인하였다. 이에 비해 4날 엔드밀 경우 주축속도 80~200RPM 범위에서 계측속도 50mm/min까지 안정된 계측특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.
- (3) 본 연구에서는 머시닝센터에서 공구감시에 필요한 장치설정 모드, 수동측정 모드 및 자동측정 모드용 프로그램의 개발과 신뢰도를 확보 할 수 있었다.
- (4) 도체 공작물의 형상측정을 위한 기상계측용 센서 시스템을 적용할 수 있으므로 제품의 형상측정 시스템 구축이 가능하다.

#### 후 기

이 논문은 2001년도 중소기업청의 기술혁신사업 전략과제 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 산업자원부/과학기술부, "PC-NC 응용가공 기계의 지능화 기술 개발에 관한 연구", 최종보고서, pp. 5~25, 2000. 4.
- (2) 과학기술부, "고기능 자율가공 시스템개발" 한국기계연구원, UNC568-2078-C, pp. 53~101, 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", 日本精密工學會誌, Vol. 65, No. 11, pp. 1617~1622, 1999.
- (4) 주상윤, 강병필, "NC선반가공에서 자동공구보정시스템의 개발", 한국정밀공학회지, Vol. 16, No. 11, pp. 47~54, 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ル-ルエソドミルの磨耗特性", 日本精密工學會誌, Vol. 65, No. 6, pp. 867~871, 1999.
- (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, pp. 1~14, Rev. 0368E-02/00.
- (9) Infineon Technologies, "Technical Manual (No Base Connection Photo transistor Optocoupler)", Moc8103, 1-800-777-4363, 1999. 11.
- (10) 정상화, 신현성, 김현욱, "머시닝센터용 자동공구보정시스템의 개발", 한국공작기계학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 48~54, 2001. 8.