

NC 공작기계용 대화형 측정 및 검사시스템

An Interactive Measuring and Inspection System For NC Machine Tools

김경돈, 정성종**

*한양대학교 기계설계학과(Tel:+82-2-290-0444; Fax:+82-2-298-4634)

**한양대학교 기계공학부(Tel:+82-2-290-0444; Fax:+82-2-298-4634; E-mail:schung@email.hanyang.ac.kr)

Abstract Design methodology of Interactive Measuring Part Program Generating Tools(IMPPGT) realized on the FANUC 15MA using touch trigger probes and interactive macro functions of the CNC was described in this paper. Measuring G codes have been designed according to probe set up, basic and applied inspection items by using measuring arguments. Menu driven measuring and inspection functions of the IMPPGT were studied and implemented on the CNC through the macro executor and ROM writer. Using the developed measuring G code system on the machine tool, untended measurement and inspection operation was able to be realized in precision FMS lines.

Keywords Measuring G Code, Interactive Measuring Part Program Generating Tools, FMS, On the Machine, Macro Executor

1. 서론

유연생산시스템(FMS)과 컴퓨터통합생산(CIM) 시스템으로의 생산체제 전환은 설계, 가공, 측정, 연마, 열처리, 조립 등으로 대별되는 생산공정의 자동화, 통합화, 고효율화를 중용하고 있다. 특히, 측정 및 검사공정에 있어서는 고가이며 별도의 설치공간과 전문인력을 필요로 하는 3차원 좌표측정기(CMM)의 단점과 고정도 공작기계의 개발, 생산환경의 개선등이 어우러지면서 측정 및 검사공정을 공작기계상에서 구현함으로써 생산공정의 자동화 및 효율화를 시도하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

Kakino 등^[4]은 가공, 측정, 연마기능을 갖춘 머시닝센터의 개발에 대해 연구하였으며 Liu, Mou, Ferreira 등^[3,5,6]은 Reference Parts를 이용한 공작기계의 오차보정을 통해 온더머신 측정의 신뢰성을 제시하였다. Donmez, Blomquist 등^[1,2]은 공작기계 상에서의 Process-intermittent Gauging과 CMM을 이용한 Post-process Gauging을 병행함으로써 자동화된 생산시스템의 품질관리에 대해 연구하였으며 정성종 등^[8]은 형상측정검사공정 언어를 제안함으로써 다양한 측정/해석 기능을 갖춘 좌표측정기 시스템을 공작기계상에서 구현하였다.

접촉식 측정프로브를 이용한 온더머신 측정을 수행하기 위해서는 측정하고자 하는 대상물의 1) 기하학적 형상(Geometric form), 2) 정밀도 속성(precision attributes), 3) 부품간의 관계(Relation between parts), 4) 기준선·면 (datum hierarchies), 5) 관련된 기술정보(Relevant technological data) 등에 대한 것을 알고 있어야 한다.

본 논문에서는 이러한 속성들을 가공 G 코드와 유사한 형식의 측정 G 코드로 표현함으로써 전문인력의 필요, NC 메모리 관리 등 기존의 측정서브루틴 방식의 문제점을 해결하고 측정 및 검사공정의 무인자동화 및 효율화 방법에 대해 연구하였다. 또한, 측정 G 코드를 이용한 계측프로그램의 작성을 위해 대화형 측정프로그램 생성기를 개발하였으며 FMS Line에의 적용예를 통해 제안된 측정 G 코드의 우수성을 증명하였다.

2. 온더머신 측정 및 검사시스템

2.1 개발환경

본 연구는 FANUC CNC 15MA가 장착된 수평형 머시닝센터에 적용하였으며 Renishaw사의 MP7 접촉식 측정프로브를 사용하였다.

Fig. 1은 측정 및 검사공정에 필요한 모든 기능을 NC에 장착하기 위한 과정을 보여준다. FANUC사의 고유언어인 Macro Executor^[7]를 사용하여 PC에서 모든 소스코드를 작성한후 DNC를 통해 NC에 등록한다. 등록된 프로그램을 Macro Compiler를 이용하여 컴파일한후 ROM Writer를 통해 Macro Cassette에 ROM화 한다. 이를 NC에 장착하면 PC의 도움없이 NC자체로 계측작업을 수행할 수 있다.

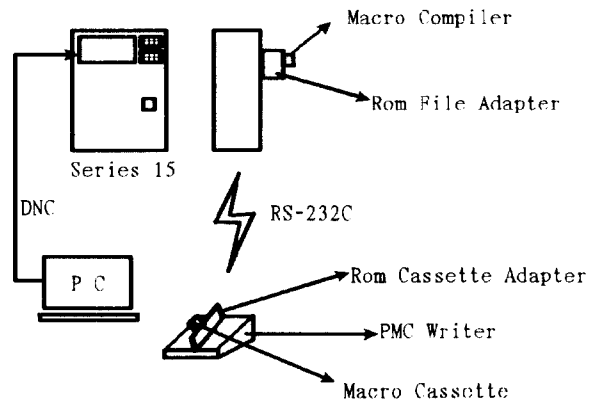


그림 1 시스템 개발과정의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of system development process

2.2 측정 G 코드 설계법

Fig. 2는 본 시스템에서 설계 개발된 측정 G 코드의 체계를 보인 것이다. 측정프로브 기능, 공작물좌표계 설정, 계측환경의 설정, 측정프로브 보정 등의 계측작업 수행시 필요한 측정준비기능(Group 1)에 대해 G100부터 G104까지의 측정 G 코드를 부여하였고, 2½차원 공작물 가공시 발생하는 검사항목들중에서 기본 측정형상(Group 2)으로 원, 폭, 코너, 평면을 선택하여 각각 G105부터 G108까지의 측정 G 코드를 부여하였다. 그리고 기본 측정형상항목들 사이의 중요한 상관관계(Group 3)를 G109의 측정 G 코드로 분류하였다.

Probe Start, Pocket, Bore-Bore를 예로한 경우, 각그룹별 측정 G 코드의 설계체계와 동일 G 코드 내에서의 기능별, 측정형상별 인자 할당법은 다음과 같다.

```

IF (Group 1) (
  switch (Measuring Preparation Function) (
    case (Probe Function) : Assess G100 code ;
    switch (Probe Function) {
      case (Probe Start) : Measuring Feature Classification Argument A equal 1. ;
                          Assess Stylus Diameter Argument D ;
                          Assess Stylus Length Argument H ;
                          Assess Probe Number Argument T ;
                          break ;
      case (Probe End) : Measuring Feature Classification Argument A equal 2. ;
                          break ;
    }
    break ;
    case (Coordinate Setting) : Assess G100 code ;
    ... ; break ;
  ) ;
) ;
else IF (Group 2) (
  switch (Basic Measuring Feature) (
    case (Circle) : Assess G105 code ;
    ... ; break ;
    case (Pocket & Web) : Assess G106 code ;
    switch (Pocket & Web) {
      case (Pocket) : Measuring Feature Classification Argument A equal 1. ;
                      switch (Pocket Type) {
                        case (Horizontal) : Work Type Argument Q equal 1. ;
                                             Assess Item Number Argument E ;
                                             Assess Work Coordinate Argument W ;
                                             Assess Tolerance Argument R, S ;
                                             Assess Reference Position Argument X, Y, Z ;
                                             break ;
                        case (Vertical) : Work Type Argument Q equal 2. ;
                                             ... ; break ;
                      }
                      break ;
      case (Web) : Measuring Feature Classification Argument A equal 2. ;
                  ... ; break ;
    }
  ) ;
) ;
else (Group 3) ( Assess G109 code ;
  switch (Applied Measurement) (
    case (Bore-Bore) : Measuring Feature Classification Argument A equal 1. ;
                      Assess Item Number Argument E ;
                      Assess First Bore Item Number Argument C ;
                      Assess Second Bore Item Number Argument K ;
                      Assess Distance Argument D, X, Y ;
                      Assess Tolerance Argument R, S ;
                      break ;
    case (Bore-Ex.Cor.) : Measuring Feature Classification Argument A equal 2. ;
                          ... ; break ;
  ) ;
) ;

```

이와같은 설계법에 따라서 각각의 측정항목에 대한 측정 G 코드를 설계 제작하였으며, Table 1은 측정항목별 코드와 인자를 보인 것이다. Table 2는 측정 G 코드에 사용된 인자이다.

Table 1과 Table 2를 참조하여 Fig. 3에 제시된 외원을 측정할 경우의 측정 G 코드는 다음과 같다.

G105 A2 D35.000 E2 R0.010 S-0.010 U0.005 V-0.005 W1 X50.0 Y25.0 Z15.0

where Boss diameter : 35.000 mm
 Boss item number : 2
 Boss center position : (50.0 , 25.0 , 15.0)
 Work coordinate : G54
 Bore center position upper tolerance : +0.010 mm
 Bore center position lower tolerance : -0.010 mm
 Bore diameter upper tolerance : +0.005 mm
 Bore diameter lower tolerance : -0.005 mm

측정 G 코드의 수행은 각각의 G 코드에 해당하는 실행매크로 (Execution Macro)^[7]를 수행함으로써 이루어진다. 실행매크로는 측정 G 코드의 인자로서 넘겨받은 기준데이터들을 바탕으로 측정위치와 측정프로브의 경로를 산출하고 측정을 수행한다. 측정된 점데이터들은 보상되어 각 항목마다의 해석알고리즘에 의해 해석되어진다. 해석된 결과는 공차를 바탕으로 기준데이터와 비

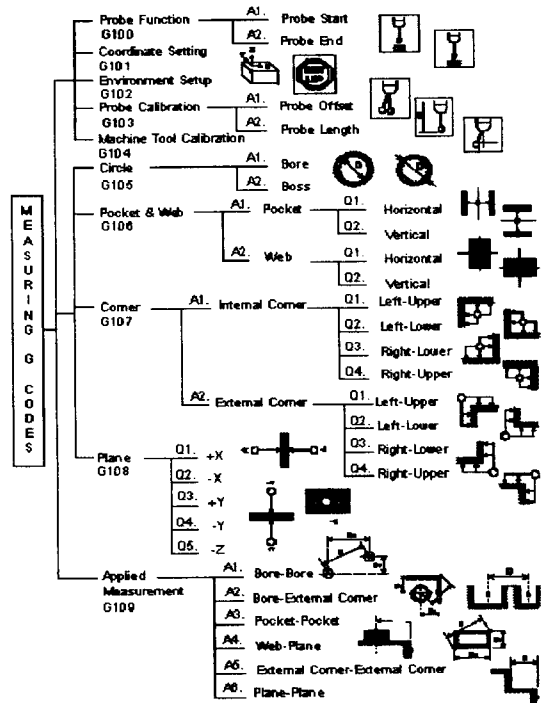


그림 2 측정 G 코드의 분류

Fig. 2 Classification of measuring G code

표 1 측정 G 코드

Table 1 Measuring G codes

Measuring Items	Measuring G codes
1. Probe Start	G100 A1 D□ H□ T□
2. Probe End	G100 A2
3. Coordinate Setting	G101 □□ W□
4. Environment Setup	G102 □□ □□ K□ T□
5. Probe Offset	G103 A1 □□ □□ □□ T□
6. Probe Length	G103 A2 □□ □□ □□ T□
7. Probe Calibration	G104 □□ □□ T□ W□ X□ Y□ Z□
8. Bore	G105 A1 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
9. Boss	G105 A2 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
10. Pocket	G106 A1 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
11. Web	G106 A2 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
12. Internal Corner	G107 A1 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
13. External Corner	G107 A2 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
14. Plane (X, Y, Z)	G108 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
15. Bore-Bore	G109 A1 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
16. Bore-Ex.Cor.	G109 A2 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
17. Pocket-Pocket	G109 A3 □□ □□ □□ □□ □□ □□
18. Web-Plane	G109 A4 □□ □□ □□ □□ □□ □□
19. Ex.Cor.-Ex.Cor.	G109 A5 □□ □□ □□ □□ □□ □□ □□
20. Plane-Plane	G109 A6 □□ □□ □□ □□ □□ □□

표 2 측정 G 코드의 인자

Table 2 Arguments of measuring G codes

Argument	Function
A	Measuring Feature Classification
B	Measuring Procedure
C	First Item Number in Applied Measurement
D	Bore (Boss) Diameter, Stylus Diameter, Distance in Applied Measurement
E	Item Number
F	Measuring Program Number
H	Pocket (Web) Length, Stylus Length
I	Move Length in X Axis
J	Move Length in Y Axis
K	Second Item Number in Applied Measurement
Q	Work Type
R	First Upper Tolerance
S	First Lower Tolerance
T	Probe Number
U	Second Upper Tolerance
V	Second Lower Tolerance
W	Work Coordinate
X	Reference Position X
Y	Reference Position Y
Z	Reference Position Z

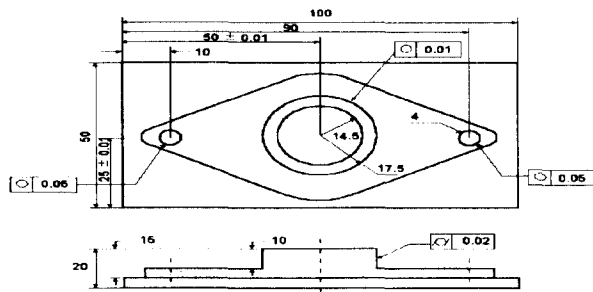


그림 3 사례연구를 위한 치수 및 공차
Fig. 3 Dimension and tolerance specification for case study

교·검사되며 해석 및 검사결과는 항목번호(Item Number)에 따라 지정된 변수에 저장된다. 평면을 예로한 경우, 실행매크로로 구현된 측정 G 코드의 수행과정은 다음과 같다.

Step 1. Check arguments and error handling.

Step 2. Arguments saving by item number.

Step 3. Measuring coordinate Setting.

#953 = #5021 - # [5200 + 20 * #935 + 1]

#954 = #5022 - # [5200 + 20 * #935 + 2]

#955 = #5023 - # [5200 + 20 * #935 + 3]

#956 = #953 - #30006

#957 = #954 - #30007

#958 = #955 - #30005

G92 X#956 Y#957 Z#958

Step 4. Calculate measuring position and path.

IF [#932 NE 1] GOTO1

G65FP9001 X#942 Y#937 Z#5043 F#903

G65FP9001 X#5041 Y#5042 Z#938 F#913

G65FP9201 A#5041 B#5042 C#5043 X#941 Y#5042

Z#5043

#960 = #927

#961 = #928

Step 5. Compensate the measured data.

#962 = #960 + #30009 - #30001 + #30006

#963 = #961 + #30007

Step 6. Analysis and inspection.

Step 7. Results saving by item number.

2.3 대화형 측정프로그램 생성기

대화형 측정프로그램 생성기는 앞절에서 설계된 측정 G 코드들을 이용하여 작업장 프로그래밍(Shop Floor Programming)^[7]이 가능하도록 사용자가 NC 화면을 통해 측정프로그램을 생성하고 측정결과를 확인할 수 있도록 하는 기능이다.

측정프로그램의 생성루틴은 대화형 매크로(Conversational Macro)^[7]로 설계함으로써 사용자와의 인터페이스를 강화하였으며, 생성된 측정프로그램의 실행을 위한 모든 측정루틴은 실행매크로(Execution Macro)로 작성하여 P-Code Program으로 구현^[9]함으로써 머시닝센터 작업자가 간단한 가공프로그램을 생성하여 실행시키는 방법과 동일하게 측정프로그램을 생성하고 측정을 수행할 수 있도록 설계되었다. Fig. 4는 P-Code Program의 구현을 위한 Macro Compiler의 개요를 보인 것이다.

Macro executor를 이용하여 구현된 대화형 측정프로그램 생성기는 NC 화면상에서 Fig. 5와 같은 입력화면을 통해 측정에 필요한 여러 가지 데이터들을 대화형식으로 입력함으로써 측정에 관한 비전문가라도 제한된 측정 G 코드들로 구성된 측정프로그램을 쉽게 작성할 수 있다. 측정이 끝난후, Fig. 6과 같은 측정결과 화면을 통해 측정결과를 바로 확인할 수 있다. Fig. 7은 개발된 온더머신 측정작업의 흐름을 보인 것이다.

3. FMS Line에 계측시스템의 적용

개발된 시스템의 측정 G 코드 체계는 무인운전을 요구하는 FMS Line에 적합하다. Fig. 8은 FMS Line에서 계측정보의 흐

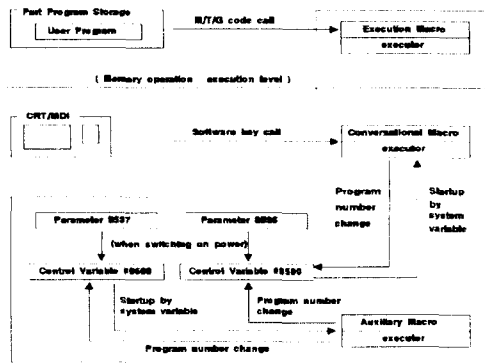


그림 4 매크로 컴파일러의 개략도
Fig. 4 Macro compiler basic outline diagram

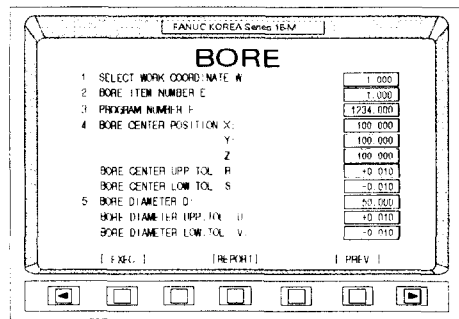


그림 5 내원측정을 위한 입력화면
Fig. 5 Input screen for bore measurement

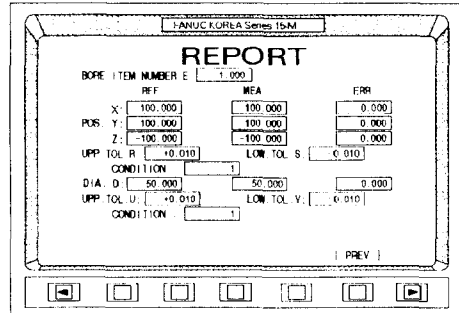


그림 6 내원측정결과 검사화면
Fig. 6 Inspection result screen for bore measurement

름을 보인 것이다. System Controller에서 가공공정계획에 따라 측정 G 코드가 포함된 가공 프로그램 또는 측정 G 코드만으로 구성된 측정 프로그램을 Cell Controller를 통해 머시닝센터(MC)에 Down-Load한다. 각각의 MC에서 계측작업이 수행된 후, 계측결과는 정해진 매크로변수에 저장된다. 저장된 계측결과는 Up-Load되어, Cell Controller 또는 System Controller에서 가공상태의 판별에 이용된다.

FMS Line에서 계측작업의 흐름은 Fig. 9에 나타난 바와 같이 우선 공작물의 가공원점인 공작물좌표계를 설정하는데 사용된다. 기준공구(Standard tool)에 대한 공작물 좌표계를 재설정함으로써 팔레트의 장착위치오차를 제거시키고 공작물의 가공정도를 향상시킬 수 있다. 설정된 공작물좌표계를 이용하여 MC에서 가공이 수행된 후, 정도가 중요시되는 항목을 계측하기 위해서는 항상 세척단계를 거쳐, 공작물 표면에 붙어있는 여러가지 이물질(칩, 절삭유 등)을 제거해야 한다. 세척단계를 거친 공작물의 공작물좌표계를 재설정하여 측정원점과 가공원점을 일치시킨 후,

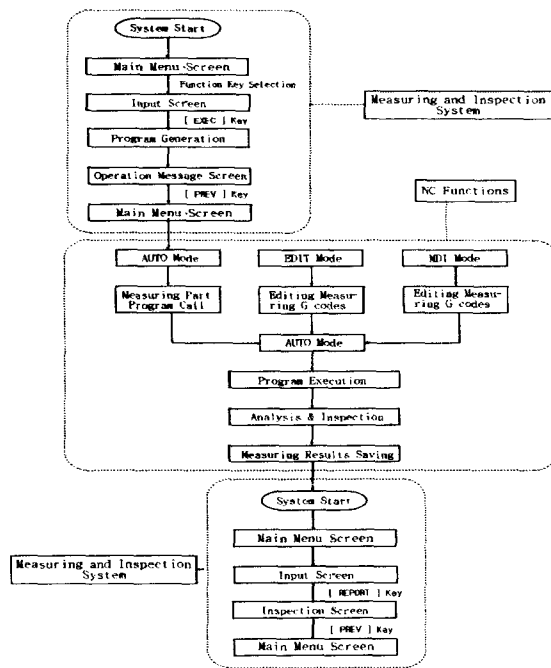


그림 7 측정흐름도
Fig. 7 Measuring sequence

측정 G 코드를 이용하여 계측작업을 수행한다. 계측결과를 이용, 가공상태를 검사하여, 합격인 경우 다음 가공단계를 수행하고, 불합격인 경우에는 팔레트를 반출시켜 전 단계에서 이미 가공불량이 발생된 공작물을 다음 단계에서 계속 가공함으로써 인체 발생하는 손실을 줄일 수 있다.

4. 결론

온더머신 측정 및 검사공정의 자동화 및 효율화 방법에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 측정작업에 필요한 모든 기능을 ROM화 하여 NC에 장착함으로써 PC의 도움없이 접촉식 측정프로브와 NC만으로 계측작업을 수행할 수 있다.
- ② 측정 및 검사공정을 측정준비기능과 기본측정형상, 상관관계로 분류하여 측정 G 코드를 설계하였으며, 필요한 정보들을 측정 G 코드의 인자로 표현하였다.
- ③ 제안된 측정 G 코드들을 이용하여 작업장 프로그래밍이 가능하도록 대화형 측정프로그램 생성기를 개발하였다.
- ④ 측정 G 코드와 IMPPGT를 이용하면 기존의 머시닝센터 작업자가 쉽게 계측작업을 수행할 수 있다.
- ⑤ FMS Line에의 적용예를 통해 제안된 측정 G 코드의 우수성을 증명하였다.

참고문헌

[1] Donald S. Blomquist, "Quality in Automated Manufacturing", *Control Dynamics*, Vol. 45, pp.163~196, 1992.
 [2] M. A. Donmez, D. S. Blomquist, R. J. Hocken. C. R. Liu, and M. M. Barash, "A General Methodology for Machine Tool Accuracy Enhancement by Error Compensation", *Precision Engineering*, Vol. 8, pp.187~195, 1986.

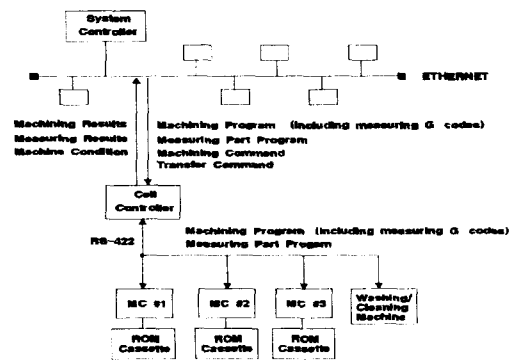


그림 8 FMS 라인에서의 계측정보의 흐름
Fig. 8 Measuring information flow in FMS line

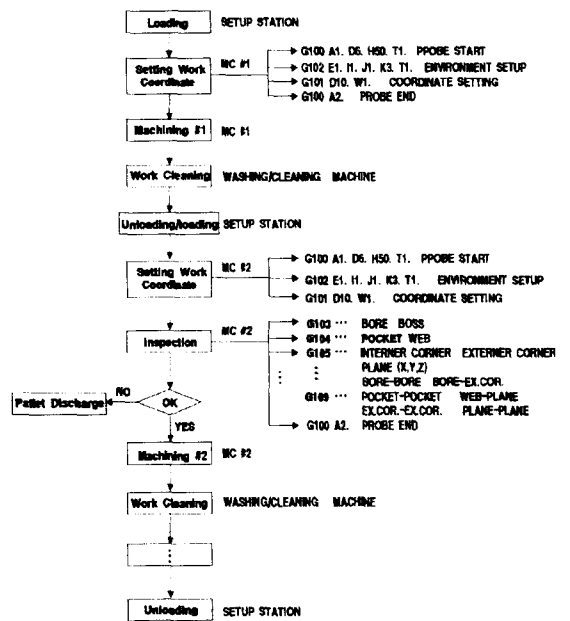


그림 9 FMS 라인에서의 측정흐름
Fig. 9 Measuring sequence in FMS line

[3] P. M. Ferreira and C. Richard. Liu, "A Method for Estimating and Compensating Quasistatic Errors of Machine Tools", *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 115, pp.149~159, 1993.
 [4] Yoshiaki Kakino, Yukitoshi Ihara, "Development of Machining and Measuring center, and Evaluation of its Performance", *Japan - U.S.A. Symposium on Flexible Automation - A Pacific Rim Conference*, pp.189~195, 1990.
 [5] J. Mou, C. R. Liu, "A Method for Enhancing the Accuracy of CNC Machine Tools for On-Machine Inspection", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 4, pp.229~237, 1992.
 [6] J. Mou and C. R. Liu, "An Error Correction Method for CNC Machine Tools using Reference Parts", *Transaction of NAMRI/SME* Vol. 22, pp.275~282, 1994.
 [7] FANUC, *Series 15 Programming Manual (Macro compiler/Macro executor)*, Tokyo, Japan, 1990.
 [8] 정성중, 김승철, 안중용, 김경돈, 이성일, "상관관계 해석을 고려한 온더머신 자동측정 시스템", 한국공작기계기술학회 '96년도 춘계학술대회 논문집, pp.183~187, 1996.
 [9] 한국화낙, *Series 15 취급설명서, 보수설명서, 결합설명서*, 창원, 대한민국, 1990.