

NC 공작기계상에서의 측정 및 검사모듈의 설계와 구현

김경돈*, 정성증**

Design and Implementation of an On-the-Machine Measuring and Inspection Module

K.D.Kim*, S.C.Chung**

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 were designed according to geometric form, precision attributes, relations between parts, datum hierarchies, and relevant technological data 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.

Key Words : CMM (좌표측정기), FMS (유연생산시스템), Interactive Measuring Part Program Generating Tools (대화형 측정프로그램 생성기), Measuring G Code (측정G코드), On the Machine (온더머신)

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 공작기계

의 개발, 생산환경의 개선등이 어우러지면서 측정 및 검사공정을 공작기계상에서 구현함으로써 생산공정의 자동화 및 효율화를 시도하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

Kakino 등⁽¹⁾은 가공, 측정, 연마기능을 갖춘 머시닝센터의 개발에 대해 연구하였으며 Liu, Mou, Ferreira 등⁽²⁻⁴⁾은 Reference Parts를 이용한 공작기계의 오차보정을 통해 온더머신 측정의 신뢰성을 제시하였다. Donmez, Blomquist 등^(5,6)은 공작기계 상에서의 Process-

* 한양대학교 기계설계학과 대학원
 ** 한양대학교 기계공학부

intermittent Gauging과 CMM을 이용한 Post-process Gauging을 병행함으로써 자동화된 생산시스템의 품질관리에 대해 연구하였으며, 정성중 등⁽⁷⁾은 형상측정검사공정언어를 제안함으로써 다양한 측정/해석 기능을 갖춘 좌표측정기 시스템을 공작기계상에서 구현하였다. 그러나 Blomquist 등⁽⁶⁾은 Renishaw사에서 제공하는 측정마크로에 의한 측정서브루틴 방식을 적용하였으며, 정성중 등⁽⁷⁾은 IBM-PC상에 형상측정검사공정언어를 상주시키면서 DNC 기능을 이용하여 온더머신 측정을 수행하였다.

측정서브루틴 방식은 NC의 memory내에 각각의 기능을 실행하는 측정서브루틴을 상주시키고 측정프로그램의 수행시 이들을 호출함으로써 측정을 수행하도록 되어있다. 따라서 측정프로그램의 작성자는 각 측정서브루틴의 번호와 호출시의 인자들을 알고 있어야 하며 여러명의 작업자가 동일한 NC를 사용할 경우는 NC memory 관리에 상당한 주의를 요한다. 또한, IBM-PC상에 형상측정검사공정언어를 상주시키면서 DNC 기능을 이용하여 온더머신 측정을 수행할 경우는 형상측정검사공정언어의 장점으로 측정프로그램 작성에는 손쉬운 면이 있으나 현장의 열악한 환경으로 머시닝센터 옆에 PC를 두지 못하기에 작업자가 PC와 NC를 오가는 문제점이 지적되고 있다.

본 논문에서는 측정하고자 하는 대상물의 1) 기하학적 형상(Geometric form), 2) 정밀도 속성(Precision attributes), 3) 부품간의 관계(Relations between parts), 4) 기준선·면(Datum hierarchies), 5) 관련된 기술정보(Relevant technological data) 등에 대한 속성들을 가공 G 코드와 유사한 형식의 측정 G 코드로 표현하여 NC 장치내에 삽입함으로써 PC와 NC를 오가는 문제점과 전문인력의 필요, NC 메모리 관리 등 기존의 측정서브루틴 방식⁽⁶⁾의 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 효율성을 증명하였다.

2. 측정 G 코드 설계법

Fig. 1은 NC 공작기계상에서의 측정 및 검사공정의 흐름을 보인 것이다. 측정프로브 기능, 측정프로브 보정, 계측환경의 설정, 공작물좌표계 설정 등의 계측작업 수행

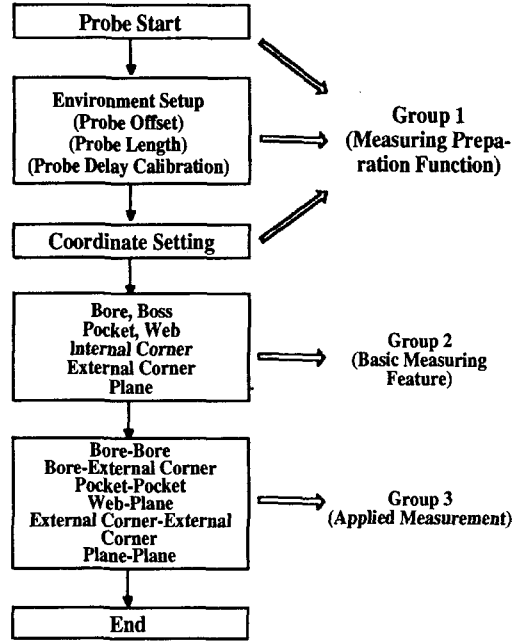


Fig. 1 Inspection process on-the-machine tool

시 필요한 측정준비기능(Group 1)에 대해 G100부터 G104까지의 측정 G 코드를 부여하였고, 2차원 공작물 가공시 발생하는 검사항목들중에서 기본측정형상(Group 2)으로 원, 폭, 코너, 평면을 선택하여 각각 G105부터 G108까지의 측정 G 코드를 부여하였다. 그리고 기본측정형상간의 중요한 상관관계(Group 3)를 G109의 측정 G 코드로 분류하였다.

Fig. 2는 기하학적 형상에 따른 측정 G 코드의 분류체계를 보인 것이다. 측정형상분류인자(Measuring feature classification argument) A로써 동일 G 코드내의 측정형상을 분류하고 공작물의 장차자세에 따른 측정형상의 변화를 공작물형태분류인자(Work type classification argument) Q로써 나타내었다.

이제, 측정형상의 위치와 치수를 결정하기 위해 다음의 정밀도 속성을 규정한다.

```

// Precision attributes
Precision ( FEATURE . POSITION ) (
  UPPER_LIMIT_TOLERANCE ( R (mm) );
  LOWER_LIMIT_TOLERANCE ( S (mm) );
  REFERENCE_POSITION ( X, Y, Z );
)

Precision ( FEATURE . SIZE ) (
  UPPER_LIMIT_TOLERANCE ( U (mm) );
  LOWER_LIMIT_TOLERANCE ( V (mm) );
  REFERENCE_SIZE ( D or H (mm) );
)
  
```

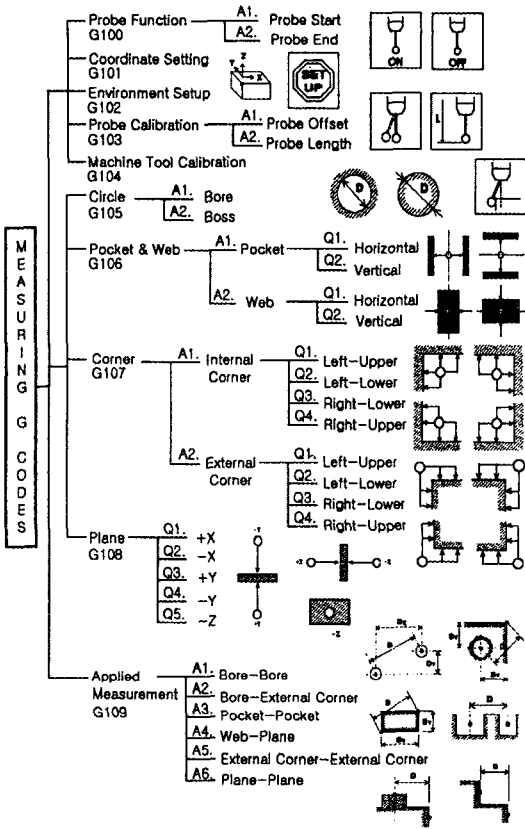


Fig. 2 Classification of measuring G code

상기의 정밀도 속성에 포함된 측정형상의 기준위치 (Reference position)는 아래와 같이 규정된 공작물 좌표계에 대한 상대값으로 설정한다.

```
// Datum hierarchies
Datum ( FEATURE . COORDINATE ) (
    WORK_COORDINATE ( W );
)
```

기본측정형상간의 상관관계는 부품간의 관계로부터 추출할 수 있고 각 측정형상의 모든 측정정보는 항목번호 (Item number)에 따라 저장되므로 부품간의 관계는 아래와 같이 측정형상의 항목번호를 포함하고 있다.

```
// Relation between parts
Relation ( FEATURE1 . FEATURE2 . DISTANCE ) (
    FEATURE1_ITEM_NUMBER ( C );
    FEATURE2_ITEM_NUMBER ( K );
    DISTANCE_BETWEEN_FEATURES ( D (mm) );
    X_AXIS_DISTANCE ( X (mm) );
    Y_AXIS_DISTANCE ( Y (mm) );
)
```

항목번호, 측정프로브 정보, 축이송거리, 측정순서 등 측정에 관련된 기술정보는 다음과 같이 규정한다.

```
// Relevant technological data
Technology ( FEATURE . ITEM ) (
    ITEM_NUMBER ( B );
)
Technology ( FEATURE . PROBE ) (
    PROBE_NUMBER ( T );
    STYLUS_DIAMETER ( D (mm) );
    STYLUS_LENGTH ( H (mm) );
)
Technology ( FEATURE . MOVE ) (
    X_AXIS_MOVE_LENGTH ( I (mm) );
    Y_AXIS_MOVE_LENGTH ( J (mm) );
)
Technology ( FEATURE . PROCEDURE ) (
    MEASURING_PROCEDURE ( B );
)
Technology ( FEATURE . PROGRAM ) (
    MEASURING_PROGRAM_NUMBER ( F );
)
```

이제까지 서술된 각 속성들은 측정형상에 따라 선별되어 측정 G 코드의 인자로써 표현된다. Probe Start, Pocket, Bore-Bore를 예로한 경우, 각그룹별 측정 G 코드의 설계체계와 동일 G 코드내에서의 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.
                Technology (PROBE_START.PROBE);
                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 Classification Argument Q equal 1. ;
                    Technology (POCKET.TYPE);
                    Datum (POCKET.COORDINATE);
                    Datum (POCKET.COORDINATE);
                    Precision (POCKET.POSITION);
                    Precision (POCKET.SIZE);
                    break ;
            )
        )
    )
)
```

```

case (Vertical) : Work Type Classification 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. ;
Technology (BORE_BORE.ITEM);
Relation (BORE_BORE.DISTANCE);
Precision (BORE_BORE.SIZE);
break ;
case (Bore-Ex.Cor.) : Measuring Feature Classification Argument A equal 2 ;
... ; break ;
)
)
)

```

이와같은 설계법에 따라서 각 측정형상에 대한 측정 G 코드를 설계 제작하였으며, Table 1은 측정형상별 코드와 인자를 보인 것이다. Table 2는 측정 G 코드에 사용된 인자이다.

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

```

G106 A1. D29.000 E2. R0.006 S-0.006 U0.005 V-0.006 W1. X50.0 Y25.0 Z15.0
where Bore diameter : 29.000 mm
Bore item number : 2
Bore center position : (50.0 , 25.0 , 15.0)
Work coordinate : G54
Bore center position upper tolerance : +0.005 mm
Bore center position lower tolerance : -0.005 mm
Bore diameter upper tolerance : +0.005 mm
Bore diameter lower tolerance : -0.005 mm

```

Table 1 Measuring G codes

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

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 Classification
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

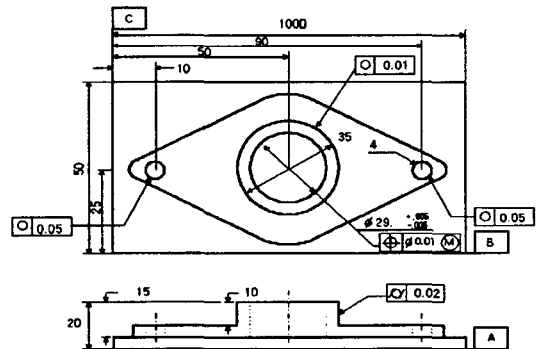


Fig. 3 Dimension and tolerance specification for case study

측정 G 코드의 수행은 각각의 G 코드에 해당하는 실행 매크로(Execution Macro)⁹⁾를 수행함으로써 이루어진다. 실행매크로는 측정 G 코드의 인자로써 넘겨받은 기준데이터들을 바탕으로 측정위치와 측정프로브의 경로를 산출하고 측정을 수행한다. 측정된 점데이터들은 각 측정형상마다의 해석알고리즘에 의해 해석되어진다. 해석된 결과는 공차를 바탕으로 기준데이터와 비교·검사되며 해석 및 검사결과는 항목번호에 따라 지정된 변수에 저장된다.

3. 대화형 측정프로그램 생성기

대화형 측정프로그램 생성기는 앞절에서 설계된 측정 G 코드들을 이용하여 작업장 프로그래밍(Shop Floor Programming)⁽⁹⁾이 가능하도록 사용자가 NC 화면을 통해 측정프로그램을 생성하고 측정결과를 확인할 수 있도록 하는 기능이다.

측정프로그램의 생성루틴은 대화형 매크로(Conversational Macro)⁽⁹⁾로 설계함으로써 사용자와의 인터페이스를 강화하였으며, 생성된 측정프로그램의 실행을 위한 모든 측정루틴은 실행 매크로(Execution Macro)로 작성하여 P-Code Program으로 구현^(9,10)함으로써 머시닝센터 작업자가 간단한 가공프로그램을 생성하여 실행시키는 방법과 동일한 가공프로그램을 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 제안된 측정 G 코드들로 구성된 측정프로그램을 쉽게 작성할 수 있다. 측정이 끝나후, Fig. 6과 같은 측정결과화면을 통해 측정결과를 바로 확인할 수 있다. Fig. 5와 Fig. 6은 Fig. 3의 형상에 대한 측정 G 코드를 생성하기 위한 입력화면과 측정결과화면이다. Fig. 7은 개발된 온더머신 측정작업의 흐름을 보인 것이다.

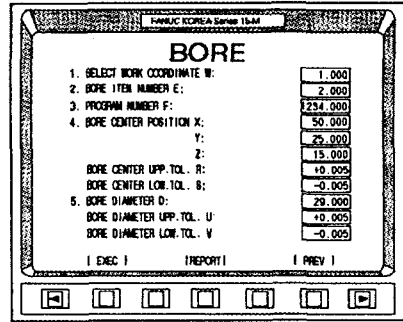


Fig. 5 Input screen for bore measurement

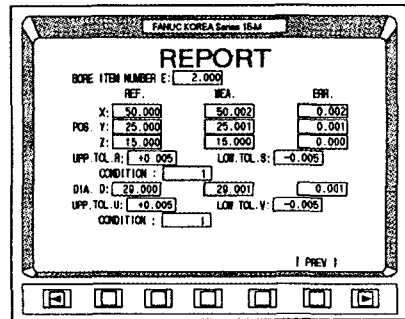


Fig. 6 Inspection result screen for bore measurement

4. 환경설정

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

Fig. 8은 측정 및 검사공정에 필요한 모든 기능을 NC에 장착하기 위한 과정을 보여준다. FANUC사의 고유언어인 Macro Executor⁽⁹⁾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 계속작업을 수행할 수 있다.

5. FMS Line에 계측시스템의 적용

기존의 측정서브루틴 방식을 FMS Line에 적용할 경우는 측정프로그램과 측정프로그램이 호출하는 측정서브루틴들을 모두 Down Load 하여 측정을 수행해야 하지만 개발된 시스템의 측정 G 코드 체계는 측정 G 코드만

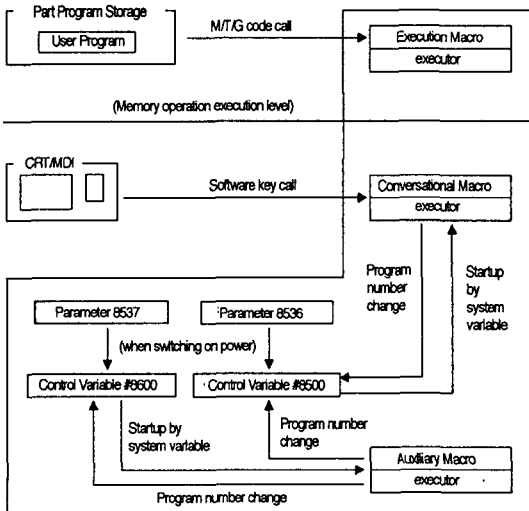


Fig. 4 Macro compiler basic outline diagram

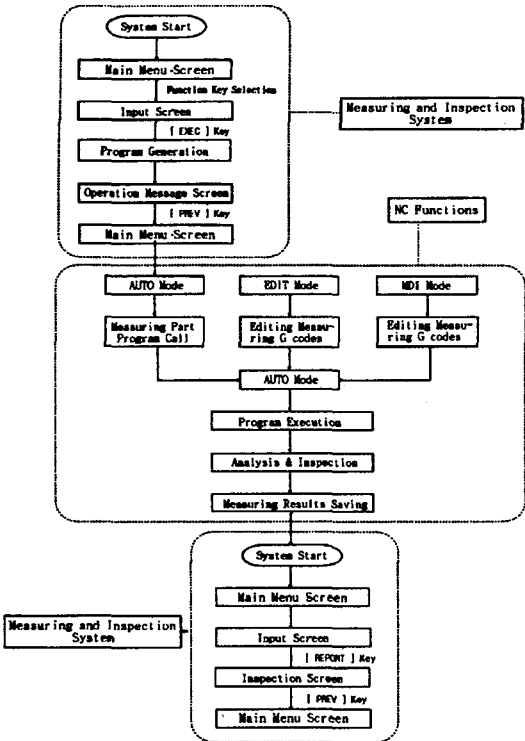


Fig. 7 Measuring sequence

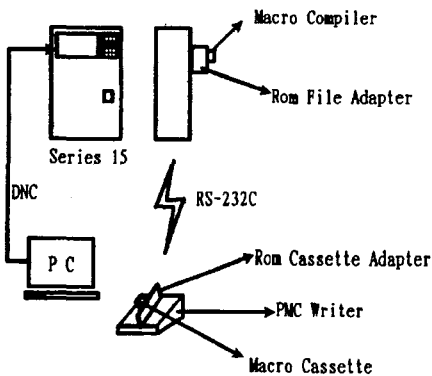


Fig. 8 Schematic diagram of system development process

을 Down Load 하면 측정을 수행할 수 있으므로 보다 효율적이다. Fig. 9는 FMS Line에서 계측정보의 흐름을 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 MC

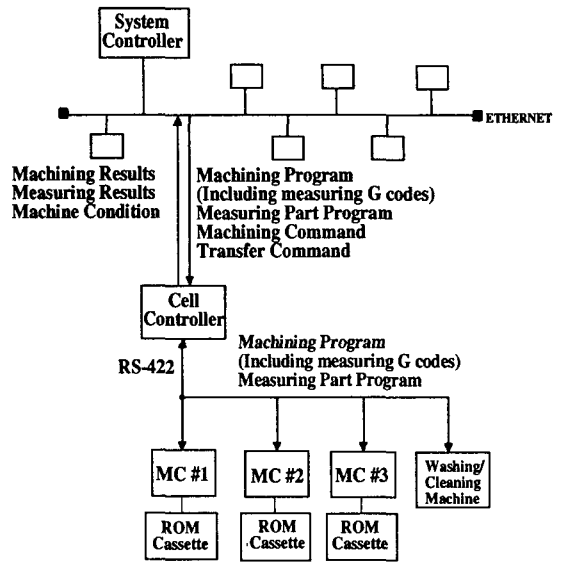


Fig. 9 Measuring information flow in FMS line

에서 계측작업이 수행된 후, 계측결과는 정해진 매크로변수에 저장된다. 저장된 계측결과는 Up-Load되어, Cell Controller 또는 System Controller에서 가공상태의 판별에 이용된다.

FMS Line에서 계측작업의 흐름은 Fig. 10에 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 세척 단계를 거쳐, 공작물 표면에 붙어있는 여러가지 이물질(칩, 절삭유 등)을 제거해야 한다. 세척단계를 거친 공작물의 공작물좌표계를 재설정하여 측정원점과 가공원점을 일치시킨 후, 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 가공함으로 인해 발생하는 손실을 줄일 수 있다.

6. 결론

온더머신 측정 및 검사공정의 자동화 및 효율화 방법에

참고 문헌

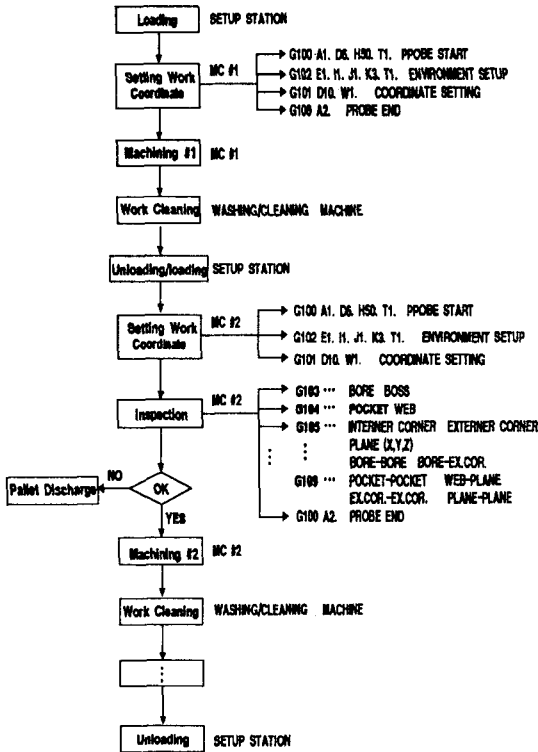


Fig. 10 Measuring sequence in FMS line

대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 온도머신 측정을 수행하기 위해 필요한 속성들을 분류하고 이를 규정하였다.
- ② 측정 및 검사공정을 측정준비능과 기본측정형상, 상관관계로 분류하고 기하학적 형상에 따라 측정 G 코드를 설계하였다.
- ③ 각 측정형상의 측정을 위해 필요한 정보들을 규정된 속성들로부터 선별하여 측정 G 코드의 인자로 표현하였다.
- ④ 제안된 측정 G 코드들을 이용하여 작업장 프로그래밍이 가능하도록 대화형 측정프로그램 생성기를 개발하였다.
- ⑤ 측정작업에 필요한 모든 기능을 ROM화 하여 NC에 장착함으로써 PC의 도움없이 접촉식 측정프로브와 NC만으로 계측작업을 수행할 수 있다.
- ⑥ 측정 G 코드와 IMPPGT를 이용하면 기존의 머시닝센터 작업자가 쉽게 계측작업을 수행할 수 있다.
- ⑦ FMS Line에의 적용예를 통해 제안된 측정 G 코드의 효율성을 증명하였다.

1. Y. Kakino and Y. Ihara, "Development of Machining and Measuring center, and Evaluation of its Performance", Japan-U.S.A. Symposium on Flexible Automation-A Pacific Rim Conference, pp189~195, 1990.
2. J. Mou and 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, pp229~237, 1992.
3. P. M. Ferreira and C. R. Liu, "A Method for Estimating and Compensating Quasistatic Errors of Machine Tools", Journal of Engineering for Industry, Vol. 115, pp.149~159, 1993.
4. 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.
5. 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.
6. D. S. Blomquist, "Quality in Automated Manufacturing", Control and Dynamic Systems-Advances in theory and applications, Vol. 45, Academic Press Inc., pp.163~196, 1992.
7. 정성중, 김승철, 안중용, 김경돈, 이성일, "상관관계 해석을 고려한 온도머신 자동측정 시스템", 한국공작기계기술학회 '96년도 춘계학술대회 논문집, pp.183~187, 1996.
8. Renishaw, Renishaw Programming Manual, England, 1988.
9. FANUC, Series 15 Programming Manual (Macro compiler/Macro executor), Tokyo, Japan, 1990.
10. FANUC, Series 15 취급설명서, 보수설명서, 결합설명서, 창원, 대한민국, 1990.