

NC 공작기계용 지능형 측정 및 검사시스템

김경돈*, 정성종**

An Intelligent Measuring and Inspection System for NC Machine Tools

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

Abstract

Interactive Measuring Part Program Generating Tools (IMPPGT) realized on the FANUC 15MA using touch trigger probes and interactive macro functions of the CNC were developed for intelligent measuring and inspection systems on the machine tools. Menu driven measuring and inspection functions of the IMPPGT were studied and implemented on the CNC through the macro executor and ROM writer. In order to automate measurement and inspection procedures in machine shops, measuring G Code system was also proposed. Using the developed measuring G Code system on the machine tool, untended measurement and inspection operation was able to be realized in FMS lines.

Keywords : Interactive Measuring Part Program Generating Tools (대화형 측정프로그램 생성기), Measuring G Code (측정G코드), Intelligent measuring method (지능형 측정법), FMS (유연생산시스템), CMM (좌표측정기), On the Machine (온더머신)

1. 서 론

FMS의 도입과 CIM의 추진등 생산공정의 자동화, 통합화, 고효율화에 대한 필요성이 증가하면서 종래의 공작기계 가공기능 이외에 측정, 열처리, 연마, 조립등 복합적인 기능을 부여시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1-3] 특히 측정 및 검사공정의 자동화에 대한 필요

성은 다품종 소량생산 체제가 정착되어 갈수록 증대되고 있다. 가공이 끝난 부품의 정밀도를 검사하기 위해 대부분의 제조공장에서 이용하는 3차원 좌표측정기(CMM)는 고가이며 별도의 설치공간을 필요로 한다.

또한 빈번한 부품이동에 따른 시간적 손실과 측정 및 검사라인에서의 병목현상으로 생산라인이 정지하는 경우가 종종 발생한다. 이로인해 측정 및 검사공정을 공작기

* 한양대학교 기계설계학과 대학원
** 한양대학교 기계공학부

계상에서 구현함으로써 생산공정의 효율화 및 자동화를 시도하고자 하는 연구가 이루어져 왔다.^(1,5-9)

이러한 연구들은 대부분 측정 및 검사기능을 PC상에 구현하고, 기계와의 인터페이스를 통해 계측작업을 수행하거나 측정에 필요한 모든 서브루틴을 NC Memory내에 상주시켜 여러개의 측정 서브루틴을 호출하여 조합함으로써 측정작업을 수행하고 있다.

본 연구에서는 사용자 인터페이스, 측정프로그램 생성 모듈, 해석 및 검사모듈, 외부입출력기능등 측정 및 검사공정에 필요한 모든 소프트웨어적인 기능을 Macro executor를 이용하여 프로그램한 후 ROM화 하여 FANUC 15MA에 장착함으로써 수평형 머시닝센터상에서 PC의 도움없이 접촉식 측정프로브만을 이용하여 기존의 머시닝센터 작업자가 손쉽게 계측기능을 수행할 수 있는 온더머신(On the Machine) 지능형 측정 및 검사 시스템을 개발하였다.

개발된 시스템의 대화형 측정프로그램 생성기(Interactive Measuring Part Program Generating Tools : IMPPGT)를 이용하면, 기존의 머시닝센터 작업자가 NC의 CRT를 보면서 쉽게 측정프로그램을 생성할 수 있고, 그에 따른 측정수행은 물론, 그 결과를 확인할 수 있다. 또한, 가공 G 코드와 유사한 형식으로 개발된 측정 G 코드를 이용하면 가공 프로그래머가 계측환경의 설정이나 계측프로그램의 작성을 쉽게 할 수 있으며, 무인운전을 요구하는 FMS Line에서도 개발된 시스템을 적용할 수 있다. 그리고 기본적인 계측형상에 대해서는 지능형 계측법을 통해 정확한 위치정보나 공작물좌표계의 설정없이도 측정을 수행할 수 있도록 하였다.

2. 온더머신 지능형 측정 및 검사시스템

2.1 개발환경

개발된 시스템은 FANUC 15MA가 장착된 머시닝센터상에서 실행되며, Renishaw사의 MP7 접촉식 측정프로브를 사용한다. Table 1은 개발환경을 보여준다.

개발언어는 Macro Executor를 사용하였으며 Macro Compiler를 이용하여 컴파일한후 ROM Writer를 통해 Macro Cassette에 ROM화⁽¹⁰⁾됨으로써 NC자체에서 계측이 이루어질 수 있도록 하였다.

Table 1 Hardware requirement for the system

Machine Type	Horizontal Machining Center
NC Equipment	FANUC 15MA CNC Controller 9" Mono CRT DNC2 Board or Remote Buffer Rom File Adapter Custom Macro Option Macro Executor Option High Skip Option Background Editing Option
Touch Trigger Proge	Renishaw MP7 Probe Set MI12 Interface Unit

2.2 소프트웨어 구조

계측시스템의 구조설계는 Fig. 1과 같이 5개의 모듈로 나누어진다. 프로브 기능 모듈은 측정프로브를 기동하거나 정지시키는 기능을 수행하며, 환경 모듈은 계측작업을 위한 준비단계로서 공작물좌표계설정이나 계측환경설정 등이 이에 해당된다. 보정 모듈은 측정시 오차를 줄이기 위한 측정프로브나 공작기계의 오차보정을 담당하며, 형상계측 모듈은 내(외)원, 내(외)폭, 내(외)코너, 평면 등의 기본형상을 계측하며, 응용계측 모듈은 기본형상간의 상관관계를 추출할 수 있는 모듈로서 원간거리, 평면간거리, 외코너간거리 등이 이에 해당된다. Fig. 2는 이러한 구조를 갖는 계측시스템의 메뉴화면을 보여준다.

모든 계측작업은, 1. PROBE START에서 측정프로브를 기동시킴으로써 시작되며, 2. PROBE END에서 측정프로브의 기능을 정지시킴으로써 종료된다. 3. COORDINATE SETTING은 가공 및 측정 기준점인 공작물좌표계를 설정하는 기능으로서, 실제로 공작물을 측정하기 전에 이루어져야 한다. 계측작업 개시후에는, 측정프로브에 의한 측정결과와 측정정도를 확보하기 위해 반드시 4. ENVIRONMENT SETUP에서 계측환경을 설정해야 한다. 계측환경은 5. PROBE OFFSET, 6. PROBE LENGTH, 7. PROBE CALIBRATION에서 구한 각종 측정오차 보상데이터들로 구성되어 있다. 설정된 계측환경에 따라서 모든 측정데이터는 프로브와 기준공구와의 인터페이스를 통해 기준공구에 대하여 변환되며, 그 결과에 따라서 각 측정항목의 해석 및 검사가 수행되므로, 계측환경은 계측이 수행되는 기계 및 프로브의 상태에 따라 알맞게 설정되어야 한다. 8. BORE부터

14. PLANE (X, Y, Z)까지는 기본계측형상이며 15. BORE-BORE부터 20. PLANE-PLANE까지는 기본계측형상의 계측결과를 이용한 기본계측형상간의 상관관계 계측기능이다.

계측시스템에서 20가지 계측기능은 1) 대화형 측정프

로그램 생성방식 2) 측정 G 코드 응용방식 3) 지능형 계측의 3가지 방식으로 운용된다. 계측가능한 기본계측형상과 그들 사이의 상관관계를 Fig. 3에 보였으며 Fig. 4는 각각의 계측방식을 이용한 계측작업의 흐름도를 보인 것이다.

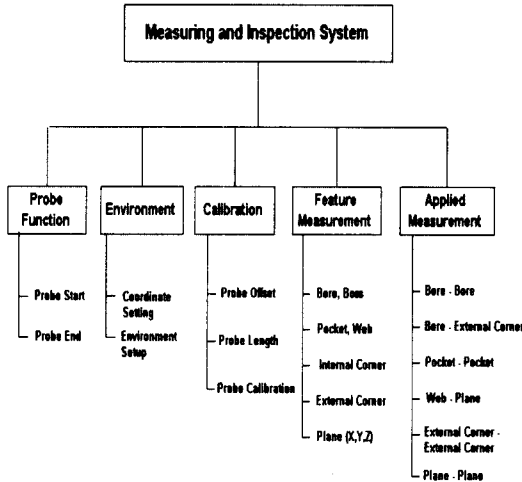


Fig. 1 Architecture of the system

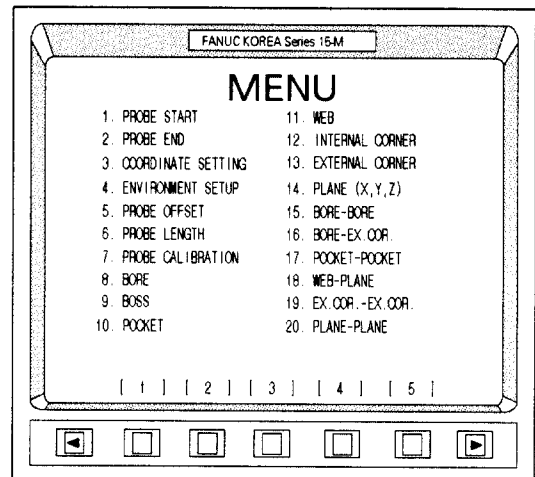


Fig. 2 Main menu screen

Measuring Function	Feature Measurement	Applied Measurement
Position Measurement	Bore Boss 	Coordinate Setting Step Web - Plane Distance
	Pocket Web 	
	Internal Corner External Corner 	
Length Measurement	Bore Boss 	Pocket - Pocket Distance Bore - Bore Distance
	Pocket Web 	
Plane Measurement	Plane 	Bore - External Corner Distance External Corner - External Corner Distance
Fixing Error Measurement	Fixing Error XY Plane 	

Fig. 3 Measuring and inspection items of the system

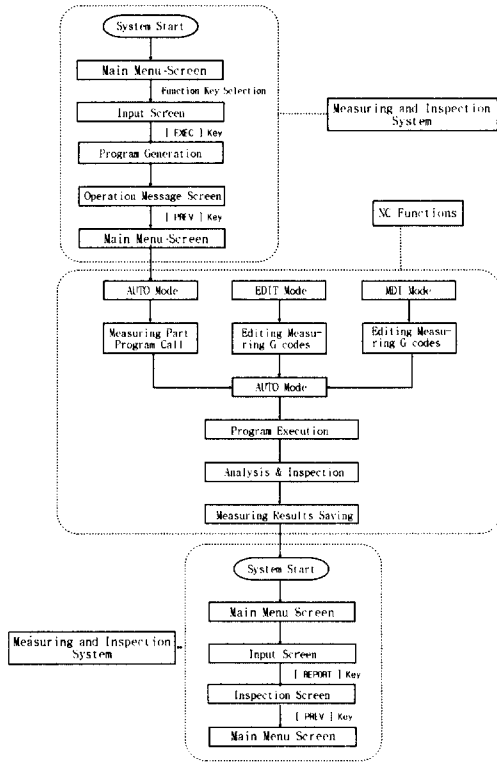


Fig. 4 Measuring sequence

2.3 대화형 측정프로그램 생성기

대화형 측정프로그램 생성방식에서는 사용자가 NC 화면을 보면서, 측정에 필요한 여러가지 데이터들을 대화형식으로 NC 자판을 통해 입력함으로써, 비전문가도 손쉽게 측정프로그램을 생성하여 각 계측기능을 수행할 수 있다.

Macro Executor를 이용하여 구현된 대화형 측정프로그램 생성기는 측정프로그램의 생성루틴을 대화형 매크로(Conversational Macro)로 설계함으로써 사용자와의 인터페이스를 강화하였으며, 생성된 측정프로그램의 실행을 위한 모든 측정루틴을 실행 매크로(Execution Macro)로 작성하여 P-Code Program으로 구현⁽¹¹⁾함으로써 머시닝센터 작업자가 가공프로그램을 생성하여 실행시키는 방법과 동일하게 측정프로그램을 생성하고 측정을 수행할 수 있도록 설계되었다. P-Code Program의 구현을 위한 Macro Compiler의 개요를 Fig. 5에 나타내었다.

대화형 측정프로그램 생성기의 화면체계는 Fig. 6과 같이 계층적 구조를 가지고 있으며 하위계층으로의 이동은 각각의 화면에 나타나는 Soft Key를 선택함으로써 이루어지며 상위계층으로의 이동은 [PREV] Key를 선택하도록 설계하였다. 첫 번째 레벨인 메뉴화면에서는 20개의 계측기능을 선택하고 두 번째 레벨인 측정 입력화면에서는 각각의 계측기능을 수행하는 측정프로그램을 생성할 수 있으며 세 번째 레벨인 작업지시화면 및 측정 결과화면에서는 생성된 측정프로그램을 수행하는 방법과 측정이 완료된 후 해석된 결과를 확인할 수 있다.

Bore의 경우를 예로들어 각 레벨의 화면을 Fig. 7 ~ Fig. 9 에 나타내었다.

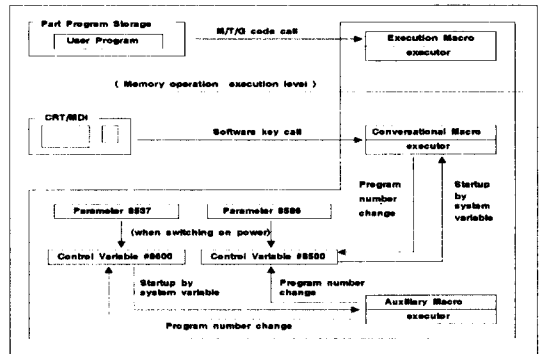


Fig. 5 Macro compiler basic outline diagram

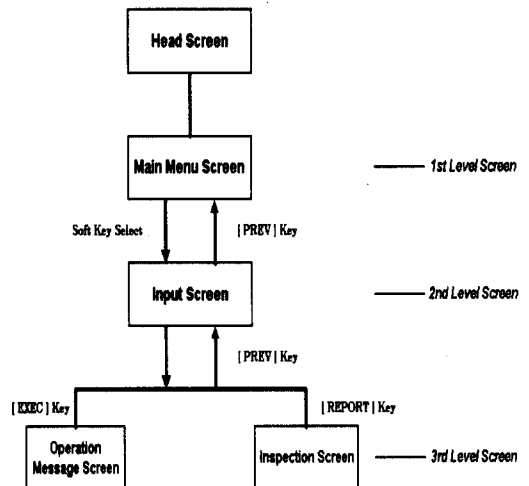


Fig. 6 Hierarchy of screen

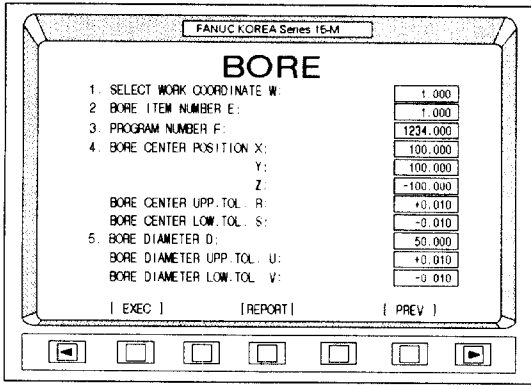


Fig. 7 Input screen for bore measurement

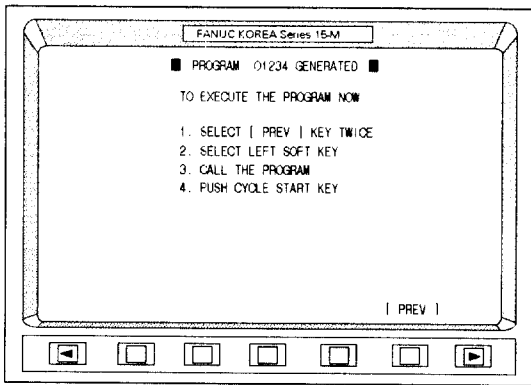


Fig. 8 Operation message screen for bore measurement

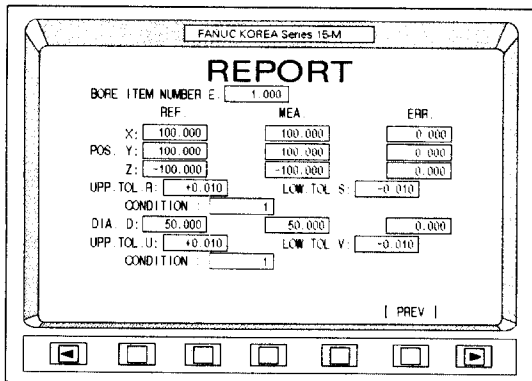


Fig. 9 Inspection screen for bore measurement

2.4 측정 G 코드 방식

계측공정의 자동화를 위해 가공 G 코드의 형식과 유사한 측정 G 코드를 개발하였다. 기존의 측정 서브루틴의 호출에 의해 계측작업을 수행하는 방식^[12]과는 달리, 개발된 시스템의 모든 계측기능은 Macro Cassette에 ROM화 되어 NC에 장착되므로 종래의 측정 서브루틴을 저장하기 위한 NC Memory의 증설이 불필요하며, FMS Line에의 적용시, 측정 G 코드만을 Down Load 함으로써, 측정작업에 관련된 모든 서브루틴을 Down Load 해야 하는 측정 서브루틴 호출방식의 문제점을 개선하였다. 또한, 측정 G 코드는 가공 G 코드와 유사한 형식으로 설계되었기에 기존의 가공 프로그래머가 계측환경의 설정이나 계측프로그램의 작성을 손쉽게 행할 수 있다.

측정 G 코드에 익숙하거나, 무인운전이 요구되는 경우에는 대화형 측정프로그램 생성기를 이용하지 않고 모든 계측기능마다 부여된 측정 G 코드를 이용하여 각 계측작업을 수행할 수 있다. 개발된 측정 G 코드를 Table 2에 나타내었으며, 측정 G 코드의 각 인자에 대한 설명을 Bore의 경우를 예로들어 Table 3에 나타내었다. Table 2의 측정 G 코드를 이용하여 계측작업을 수행하기 위해서는, 가공 G 코드의 경우와 같이 NC의 EDIT Mode 또는 MDI Mode에서 각 계측기능별 측정 G 코드를 정해진 양식대로 작성하여 실행시킨다. 측정된 데이터는 매크로의 연산기능을 이용하여 해석 및 검사과정을 거친 후, 지정된 매크로 변수에 저장되며 검사결과와 확인은 2.3 대화형 측정프로그램 생성기와 동일하다.

2.5 지능형 계측법

메뉴화면의 20개 계측기능중에서, 기본 계측형상들을 계측하는 경우에는 지능형 계측법을 사용할 수 있다. 지능형 계측법은 설계도면이 없어 기준위치를 알 수 없거나, 공작물좌표계가 설정되어 있지 않는 공작물의 간편한 계측방법이다. 이 계측법은, JOG 또는 HANDLE 이송을 통하여, 측정하고자 하는 공작물 형상의 부근에 측정 프로브를 위치시킨 후, 대화형 측정프로그램 생성방식이나 측정 G 코드방식에 의해 측정프로그램을 작성, 계측작업을 수행하며, 공작물 좌표계, 계측형상의 기준 위치, 상·하한 공차의 지정없이 계측작업을 수행할 수 있도록 개발되었다.

Table 2 Measuring G codes

Measuring Functions	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□ I□ J□ K□ T□
5. Probe Offset	G103 A1. B□ D□ E□ T□
6. Probe Length	G103 A2. B□ E□ H□ T□
7. Probe Calibration	G104 D□ E□ 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□ W□ X□ Y□ Z□
11. Web	G106 A2. E□ H□ Q□ R□ S□ W□ X□ Y□ Z□
12. Internal Corner	G107 A1. E□ I□ J□ Q□ R□ S□ W□ X□ Y□ Z□
13. External Corner	G107 A2. E□ I□ 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□ R□ S□ X□ Y□
16. Bore-Ex.Cor.	G109 A2. C□ D□ E□ K□ R□ S□ X□ Y□
17. Pocket-Pocket	G109 A3. C□ D□ E□ K□ R□ S□
18. Web-Plane	G109 A4. C□ D□ E□ K□ R□ S□
19. Ex.Cor.-Ex.Cor.	G109 A5. C□ D□ E□ K□ R□ S□ X□ Y□
20. Plane-Plane	G109 A6. C□ D□ E□ K□ R□ S□

Table 3 Arguments for bore measurement

G105 A1. D□ E□ R□ S□ U□ V□ W□ X□ Y□ Z□	
A	Measuring Feature Classification (Bore : 1.)
D	Bore Diameter
E	Bore Item Number
R	Bore Center Position Upper Tolerance
S	Bore Center Position Lower Tolerance
U	Bore Diameter Upper Tolerance
V	Bore Diameter Lower Tolerance
W	Work Coordinate
X	Bore Center Position X
Y	Bore Center Position Y
Z	Bore Center Position Z

지능형 계측법을 이용한 계측작업의 경우에는, 각각의 기본계측형상마다 측정프로브의 대강의 시작위치가 정해져 있으며, Boss의 경우를 예로들어 Fig. 10에 나타내었다. 지능형 계측법에 의한 계측작업 수행시 측정 G 코드의 인수는 Table 4에 나타낸 바와 같이, 공작물좌표계

W가 99로 지정되어 있으며, Bore, Boss의 직경 D나 Pocket, Web의 길이 H를 근사값으로 입력하고 기준위치 및 상·하한 공차는 생략한다.

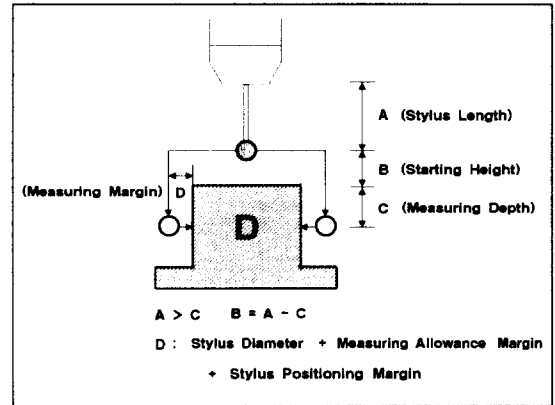


Fig. 10 Geometric relationships for intelligent measuring method

Table 4 Arguments of measuring G codes for intelligent measuring method

Measuring Functions	Measuring G codes
8. Bore	G105 A1. D□ E□ W99.
9. Boss	G105 A2. D□ E□ W99.
10. Pocket	G106 A1. E□ H□ Q□ W99.
11. Web	G106 A2. E□ H□ Q□ W99.
12. Internal Corner	G107 A1. E□ I□ J□ Q□ W99.
13. External Corner	G107 A2. E□ I□ J□ Q□ W99.
14. Plane (X, Y, Z)	G108 E□ Q□ W99.

3. FMS Line에 계측시스템의 적용

FMS Line에서는 공작물이 장착된 복수개의 팔레트(Pallet)들이 공작기계의 부하에 따라 여러대의 가공장비를 거쳐가며 가공이 이루어진다. 그러나 각각의 팔레트와 Table Base(팔레트가 가공장비에 고정되는 부위)들에는 제작공차 및 조립공차가 존재하므로, 팔레트들이 가공장비에 대하여 고정되는 위치정도는 이러한 공차들로 인해 제한된다. 따라서 FMS Line에서 고정도 부품을 가공하는 경우, 가공정도가 단독장비의 경우보다 낮아질 수 있다.⁽⁵⁾

모든 팔레트마다 3면이 연삭된 게이지블록을 설치하고 NC 공작기계용 지능형 측정 및 검사시스템을 FMS Line에 적용하여, 공작물이 장착된 팔레트가 가공장비에 반입되면, 접촉식 측정프로브를 이용하여 게이지 블록의 연삭면을 측정하여 기준공구에 대한 공작물좌표계를 재설정함으로써 팔레트의 장착위치오차를 제거시키고 공작물의 가공정도를 향상시킬 수 있다.(Fig. 11 참조) 또한, 이 기능을 FMS Line에 적용하면, 각각의 가공단계를 시작하기전에 정도가 중요시되는 항목을 계측함으로써, 전 단계에서 이미 가공불량이 발생한 공작물을 다음 단계에서 계속 가공함으로 인해 발생하는 손실을 줄일 수 있다.

개발된 NC 공작기계용 지능형 측정 및 검사시스템은 측정 G 코드를 이용해 무인운전을 요구하는 FMS Line에 적용된다. 계측시스템을 FMS Line에서 운용하는 경우에 계측정보 흐름의 예를 Fig. 12에 보였다. 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. 13에 나타난 바와 같이 제일 먼저 공작물의 가공원점, 즉 공작물좌표계를 설정하는데 사용된다. 설정된 공작물좌표계를 이용하여 MC에서 가공이 수행된 후에, 계측작업을 수행하려면 항상 세척단계를 거쳐, 공작물 표면에 붙어있는 여러 가지 이물질(칩, 절삭유 등)을 제거해야 한다. 세척단계를 거친 공작물을 계측할 때에도 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 재가공 및 폐기처분할 수 있도록 한다.

4. 결 론

① FANUC 15MA를 탑재한 머시닝센터상에서 접촉식 측정프로브와 NC의 대화형 매크로 기능을 이용하여, PC의 도움없이 NC의 화면과 자판만으로, 계측작업을 수

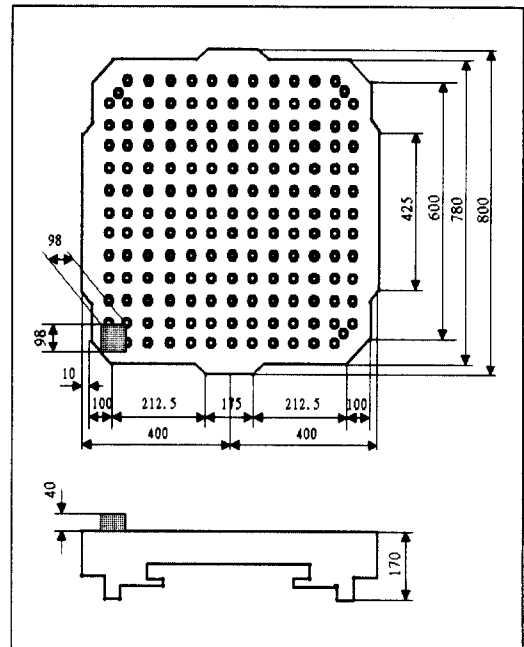


Fig. 11 Gage block on the pallet

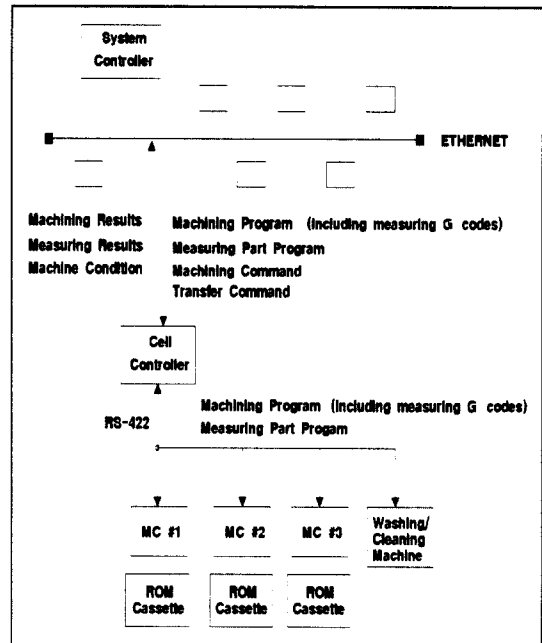


Fig. 12 Measuring information flow in FMS line

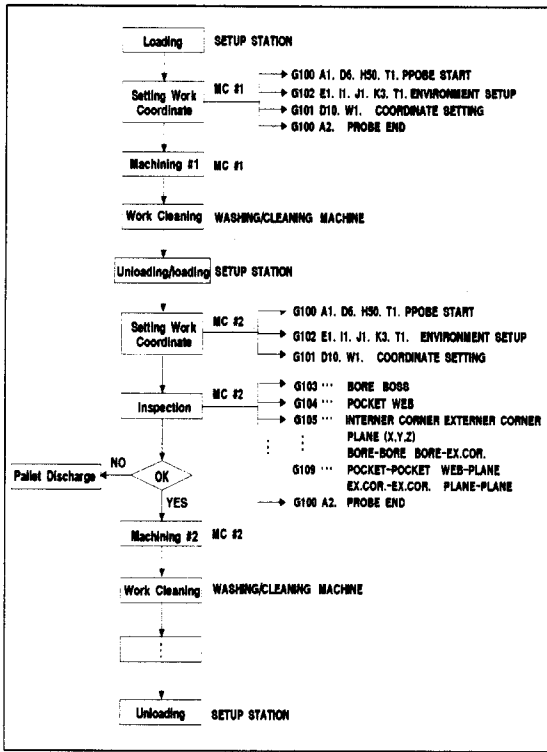


Fig. 13 Measuring sequence in FMS line

행할 수 있는 NC 공작기계용 지능형 측정 및 검사시스템을 개발하였다.

② 기계사용자가 IMPPGT를 통해 NC 자판만을 이용하여 쉽게 측정프로그램을 생성하고, 측정을 수행한 후, 화면상에서 그 결과를 볼 수 있다.

③ 계측시스템의 모든 계측기능마다 측정 G 코드를 부여함으로써, 무인운전을 요구하는 FMS Line에서도 적용할 수 있도록 하였다.

④ 도면이 없는 공작물의 계측이나 공작물좌표계가 설정되어 있지 않은 경우에는 지능형 계측법을 이용하여, 측정형상의 근처에 MPG 등을 이용하여 측정프로그램을 위치시키기만 하면 측정이 수행될 수 있도록 하였다.

⑤ 단위기계에 비해 팔레트의 수가 많고 복수개의 공작기계와의 호환성을 필요로 하는 FMS Line에 본 계측시스템을 적용하면, 가공전 기준공구에 대한 공작물좌표계의 원점 보정을 통해 가공정도를 향상시킬 수 있다.

⑥ FMS Line의 각 공작기계상에서 가공단계별로 정

도가 중요시 되는 항목을 계측함으로써, 가공정도를 상태 감시할 수 있으며, 전 단계에서 이미 가공불량이 발생한 공작물을 다음 단계들에서 계속 가공함으로써 발생하는 손실을 줄일 수 있다.

⑦ 본 계측시스템을 FMS에 적용하면, 종래의 공작기계와 좌표측정기(CMM)사이를 오가면서 발생하는 측정, 검사, 재가공 및 그의 운영 시간, 그리고 CMM에서의 측정 및 검사시에 물류흐름의 정체때문에 발생하는 FMS Line의 병목현상을 방지할 수 있다.

참고문헌

- 1) Yoshiaki Kakino, Yukitoshi Ihara, 1990, "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.
- 2) J. Mou, C. Richard Liu, 1992, "A Method for Enhancing the Accuracy of CNC Machine Tools for On-Machine Inspection", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 11, No. 4, pp229~237.
- 3) M. A. Donmez, D. S. Blomquist, R. J. Hocken, C. R. Liu, and M. M. Barash, 1986, "A General Methodology for Machine Tool Accuracy Enhancement by Error Compensation", Precision Engineering, Vol. 8, pp.187~195.
- 4) Joseph Talavage and Roger G. Hannam, 1988, Flexible Manufacturing Systems in Practical Applications, Design, and Simulation, Marcel Dekker.
- 5) Donald S. Blomquist, 1992, "Quality in Automated Manufacturing", Control Dynamics, Vol. 45, pp.163~196.
- 6) M. Weck and M. Schmidt, 1986, "A New Method for Determining Geometric Accuracy in the Axis of Movement of Machine Tools", Precision Engineering, Vol. 8, pp.97~103.
- 7) 박우열, 정성종, 1993, "온더머신 오차측정 및 검사

- 시스템의 개발”, 대한 기계학회 '93년도 추계학술대회 논문집 (1), pp.749~752.
- 8) 정성중, 김승철, 안중용, 김경돈, 이성일, 1996, “상관관계 해석을 고려한 온 더 머신 자동측정 시스템”, 한국공작기계기술학회 '96년도 춘계학술대회 논문집, pp.183~187.
- 9) 김경돈, 1996, “지능화된 In-Line Measuring 시스템의 개발에 관한 연구”, 석사학위논문, 한양대학교.
- 10) FANUC, 1990, Series 15 취급설명서, 보수설명서, 결합설명서, 창원, 대한민국.
- 11) FANUC, 1990, Series 15 Programming Manual (Macro compiler/Macro executor), Tokyo, Japan.
- 12) Renishaw, 1988, Renishaw Programming Manual, England.