

무인 FMC에서의 인터프로세스(Inter-Process) 3차원 측정

김 선 호* 김 선 호** 이 춘 식*

* 한국기계연구소 자동화연구부

** 명지대 산업공학과

요 약 문

무인화된 대량생산 체제에서는 Transfer Line을 이용하게되며, Cycle Time의 단축을 위하여 측정 및 검사 기능이 별도의 Station으로 있어 가공후에 부품의 불량여부를 감지한다. 그러나 다품종소량생산체제에서는 FMC 또는 FMS가 적합하며, 이 시스템에 바람직한 감시기능으로서는 기내측정(Inter-Process) 방식을 많이 이용한다. 여기서는 CNC선반과 머시닝센터에 접촉식 센서인 터치프로브(Touch Probe)를 설치하여 개발한 무인 FMC용 인터프로세스 3차원 측정 및 검사시스템을 소개한다.

I. 개 요

일반적으로 기계가공은 설계, 가공, 검사의 공정으로 이루어진다. 가공에 있어서 소품종다량생산인 경우는 주로 전용라인(Transfer Line)이 이용되고 있으며, 다품종소량 또는 중품종중량생산인 경우는 FMS(Flexible Manufacturing System)나 FMC(Flexible Manufacturing Cell)이 적합한것으로 알려져있다. 검사에 있어서는 전용라인인 경우 사이클타임을 단축하기위해 측정 및 검사 기능을 별도의 Station으로 설치하는것이 일반적이다. 그러나 FMC나 FMS의 경우 품종이 자주 변하기 때문에 다양한 기능의 검사 Station을 별도로 설치하는것은 비경제적이며 검사시간도 많이 소요된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 가공후 기내에서 직접 측정하는 인터프로세스(Inter Process) 방식이 많이 사용되는 추세이다. 최근에는 가공정도, 위치 결정정도 등의 공작기계의 성능이 향상되면서 공작기계에 접촉식 센서를 설치한 기내 측정 방식이 실용화 되고 있다[5].

여기에서는 CNC 선반과 머시닝센터에 접촉식 센서인 터치프로브(Touch Probe)를 설치하여 개발한 인터 프로세스 3차원 측정 및 검사 시스템을 소개한다. 우선, 선삭 FMC에 설치된 시스템의 경우 하드웨어구성, 오차 특성 규명 및 보상, 치수 검사와 공구 마모 감지 기능을 보유한 소프트웨어를 소개하며, 이어서 머시닝센터에 설치된 시스템의 경우, 하드웨어 구성, 이송속도(Feedrate)에 따른 오차특성, 측정에 필요한 소프트웨어의 기능을 소개한다.

II. 선삭 FMC에의 적용에

FMS나 FMC에는 어떠한 형태이든 가공이 완료된 가공물에 대한 측정장치 또는 측정

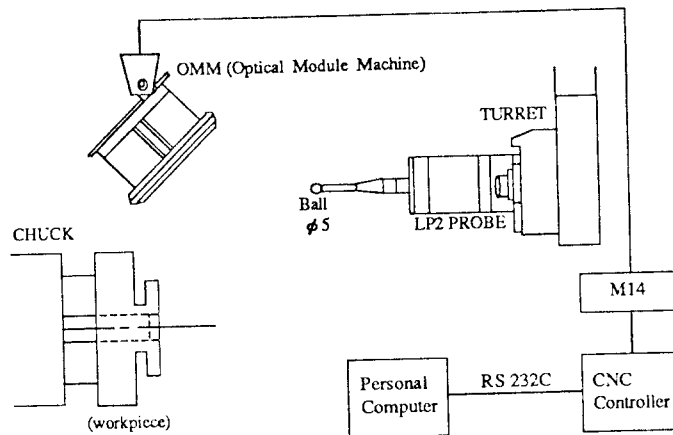


그림 1. 터치 프로브의 설치도(선삭 FMC)

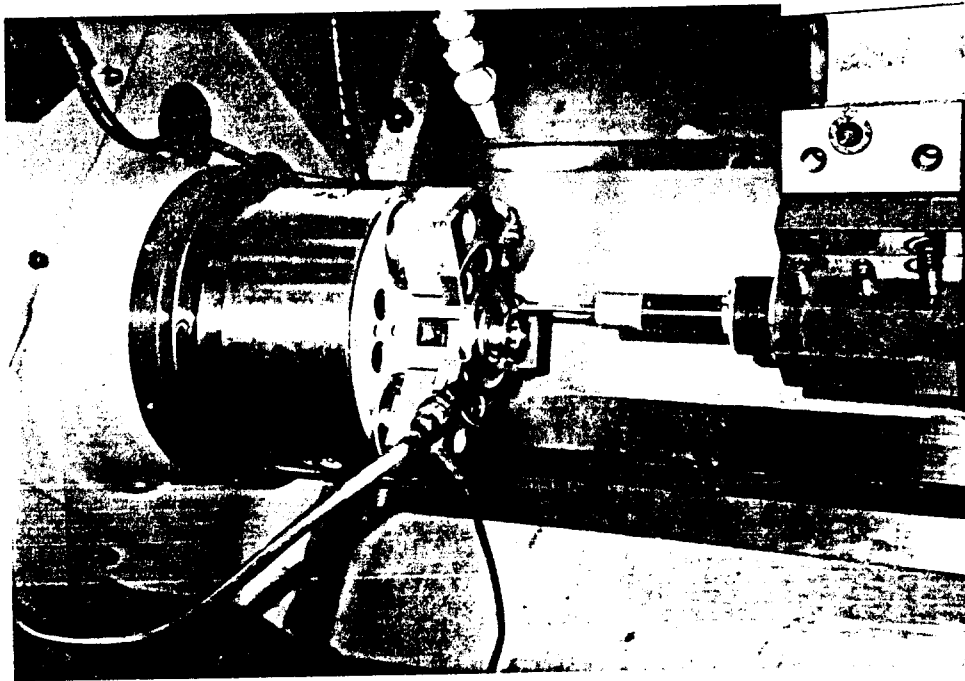


그림 2. 터치프로브에 의한 인터프로세스 측정(선삭 FMC)

기능을 부여하여야 한다. 여기서는 자동선삭 FMC에 적합하도록 터치 프로브(Touch Probe)를 이용하여 개발한 기내(Inter Process) 측정 시스템을 소개한다. 터치프로브는 가공이 완료된 후 가공물이 선반 척(Chuck)에 고정된 상태에서 측정위치나 측정점에 구애 받지 않고 가공물의 치수 측정이 가능한 인터 프로세스(Inter Process) 측정의 특징을 가지고 있다. 그러나 이방식은 측정의 오차를 수반하는 여러가지 인자들을 가지고 있어 다소 정확도 및 정밀도가 떨어지는 측정장치로 인식되고 있으나 본 시스템에서는 이러한 오차 요인을 보상하는 방법을 이용해 측정 정밀도가 우수한 시스템을 구성하였다. 본 시스템은 당 연구실에서 기술 이전한 H실업에 설치 되어 운용중에 있다.

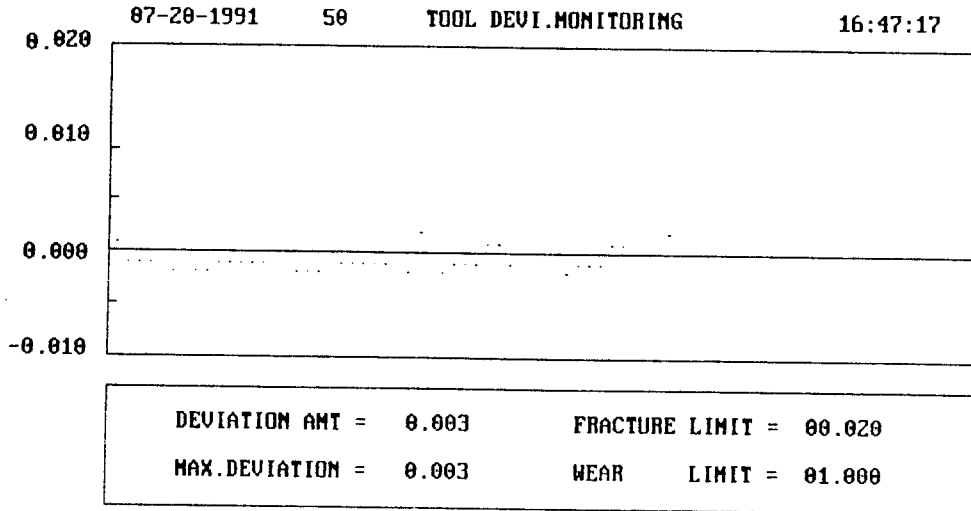


그림 3. 열변형에 의한 오차를 보상한 측정치(50회 측정)

가. 시스템 구성

터치프로브를 이용한 측정 시스템을 기어블랭크(Gear Blank) 가공용 선삭가공 FMC에 장착하였다. 가공물 측정을 위한 터치프로브는 가공 공정중 치수관리가 가장 중요한 외경(허용오차 20 μ m)과 내경(허용오차 10 μ m)의 각 한점을 선택하여 두개의 CNC선반중 #10공정 선반(ECOSTAR II, 화천기계공업, FANUC OT, 90년제작)에 설치하였다. 여기에 사용한 터치 프로브는 레니쇼우(Renishaw)제품으로서 규격은 다음과 같다.

Trigger Probe : LP2
 Interface Unit : MI4
 Stylus Extension : 50mm
 Ruby Ball Stylus : ϕ 5
 Optial Data Transmission

터치프로브의 결합 관계는 그림 1에 나타내었으며 측정된 데이터는 RS 232C를 통해 PC로 전송하여 치수정보를 저장 및 모니터링 할 수가 있다. 실제 측정하는 장면이 그림 2에 나타나있다.

나. 오차특성 및 보상

CNC 선반에서 터치프로브를 이용하여 측정할 경우 크게 터치프로브 설치시의 위치 오차(Position Error), 열변형, 기계특성 및 터치프로브 특성(터치프로브의 자체 반복 정밀도는 3 μ m이내임)[4] 등에 의한 정확도 오차(Accuracy Error) 및 정밀도 오차(Repeatability Error)가 존재한다. 터치 프로브의 헤드는 선반의 터렛에 설치하기 때문에 이로 인한 위치오차가 발생할 수 있다[5]. 이는 터치 프로브 헤드를 바꾸거나 측정위치 변경할때 항상 발생할 수 있기 때문에, 이러한 경우 이에 대한 오프셋 변경 서브 프로그램(Macro Program)을 운용함으로써 이를 해결할수있다. 열변형 및 기계 특성에 의한 정확도 오차는 사용하는 기계에 대한 특성을 규명하여 이에 대한 보상을 행함으로써 정확한 측정 데이터를 얻을 수가있다. 본 시스템에서는 터렛을 구동하는 X축 볼 나사의 열변형량을 반복 측정하였으며 수집된 측정치를 Regression에 의해 Curve Fitting을 하였으며[2] 그 결과를 측정 데이터에 반영하는 보정 방법을 이용했다. 이러한 보상을 행한후 측정된 결과가 그림 3에 나타나있다. 그림에 나타난 바와 같이 50회 측정 결과의 최대편차가 +3 μ m이며 최소편차가 -3 μ m로 측정되었다[5].

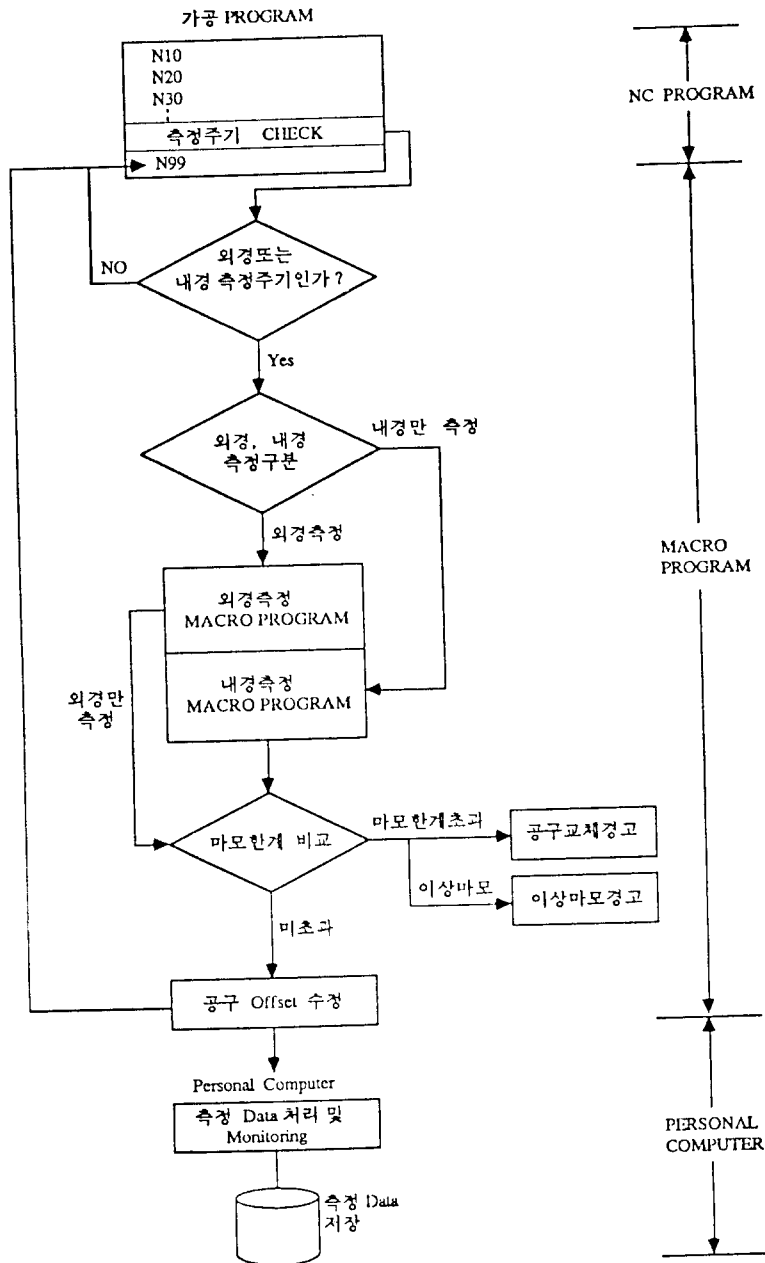


그림 4. 측정 프로그램의 정보 흐름도

다. 측정 소프트웨어

개발된 측정 소프트웨어의 정보의 흐름이 그림 4에 나타나있다. 측정 프로그램은 11개의 커스텀 매크로(Custom Macro) 서브프로그램으로 작성 되었으며, 그중 2개는 터치 프로브의 오프셋을 구하기 위한 프로그램이며 나머지 9개의 프로그램은 측정 및 측정 데이터의 전송을 위한 프로그램으로 구성 되어있다. 본 프로그램은 앞에서 언급된 오차 보정 방식을 이용하여 주기적으로 가공된 부품을 측정하며 검사하게 된다. 이때 공구의 마모를 동시에 검출하여 공구의 마모가 한계를 초과하게 되면 공구 교체를 지시하게 되며, 공구마모량이 급변하면 이상 마모로 간주하여 시스템 정지 지시를 내린다.

작업자는 가공 모델이 바뀔때마다 12개의 변수를 입력하도록 되어있다

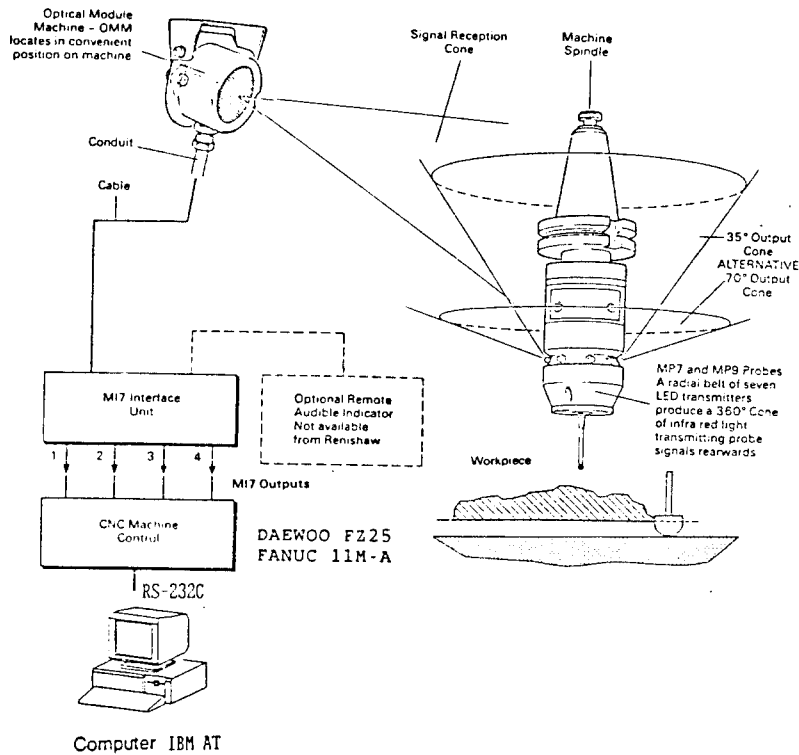


그림 5. 터치프로브의 설치도(머시닝센터)

즉, 프로브 이동을 위한 경유점 데이터(외경 X,Z 위치값, 내경 X,Z 위치값), 가공 샘플의 외.내경의 실제 치수, 외.내경의 도면 치수, 외.내경의 검사주기 외.내경의 마모 상한 등을 입력하므로써 측정 스케들이 자동으로 변경된다. 이러한 프로그램의 예가 프로그램 1에 나타나 있다.

III. 머시닝 센터에의 적용예

머시닝센터에서 터치프로브를 이용할 경우 기본적으로 가공물의 자동측정, 공구경 및 공구길이 자동측정을 수행할 수 있다. 현재 터치프로브가 설치되어 측정 오차의 특성을 규명중에 있으며 역설계에 의한 형상복사(Reverse Engineering)는 운용중에 있다.

가. 시스템 구성

인터프로세스 측정을 위해 기존 사용중인 수직형 머시닝센터(FZ25, 대우중공업, FANUC 11M A, 88년 제작)에 그림 5와 같이 터치프로브를 설치하였다. 여기에 사용한 터치프로브는 레니쇼우(Renishaw) 제품으로서 규격은 다음과 같다.

Trigger Probe : MP7
 Interface Unit : MI7
 Stylus Extension : 50mm
 Ruby Ball Stylus : $\phi 6$
 Optical Data Transmission

표 1 터치프로브의 이송속도 변화에 대한 Pre travel Error 및 표준편차(Standard Deviation)

(단위 mm)

Feedrate (mm/min)	X Axis		Y Axis		Z Axis
	Standard Deviation	Pre Travel Error	Standard Deviation	Pre Travel Error	
500	0.0700	0.8853	0.0700	0.8743	0.0660
400	0.0529	0.7134	0.0554	0.7313	0.0554
300	0.0412	0.5566	0.0418	0.5733	0.0418
200	0.0264	0.3553	0.0275	0.3531	0.0274
100	0.0124	0.1881	0.0107	0.1947	0.0134
50	0.0067	0.0883	0.0070	0.1000	0.0064
25	0.0055	0.0470	0.0031	0.0568	0.0037
10	0.0014	0.0221	0.0019	0.0303	0.0012

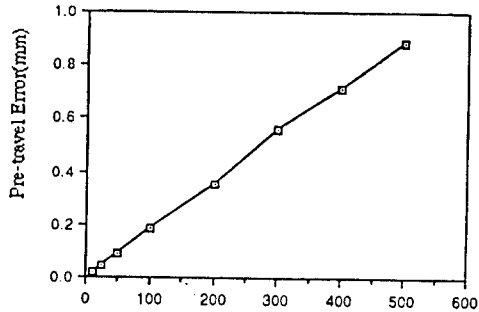
나. 측정오차특성

일반적으로 머시닝센터에서의 측정오차는 기계오차(Machine Error), 프로세스오차(Process Error), 측정오차(Measurement Error)가 50%, 37.5%, 12.5%의 비율로 나타난다 [3]. 기계오차와 측정오차는 기계의 기하학적 형상 및 구조, 온도의 영향을 받으며, 프로세스오차는 고정장치나 냉각수등의 영향을 받는다. 이러한 오차의 원인들을 모두 고려하여 측정시스템의 Error Map을 구축하기에는 많은 실험을 필요로 한다. 여기서는 측정오차중 터치프로브의 이송속도(Feedrate)에 따른 프리트라블오차(Pre travel Error)와 그에 따른 표준편차(Standard Deviation)만을 규명하였다. 이 실험에서는 Long Master Gauge(Mitsutoyo 1급)를 이용하여 고정된 측정위치와 접근경로를 이용하였으며, 열평형을 이루기 위해 Long Master Gauge는 하루 전에 설치하고 주변온도는 18°C로 유지 시켰다. 머시닝센터의 프리트라블오차와 표준편차가 표1 및 그림 6에 나타나 있다. 이송속도가 작을수록 프리트라블오차, 표준편차(또는 반복정밀도)가 모두 작아지는것을 알 수 있다. 따라서 공차의 허용치에 적합한 이송속도를 설정하는것이 바람직하다. 실험 결과 오차가 정규분포와 같이 고르게 분포하는것이 아니라 특정한 값에 몰려 있는 것으로 나타났다. 이것은 기계의 Resolution이나 Backlash등의 기계적 특성(본 실험 기계는 각축에 Glass Scale이 부착 되어 있음)에 영향을 받는것으로 판단된다. 일반적으로 정밀도 오차는 편의상 $\pm 3\sigma$ 로 정의하게 되는데 실제적으로는 오차의 평균치로 부터 최대치, 최소치를 찾아 정의하는것이 바람직한 것으로 판단된다.

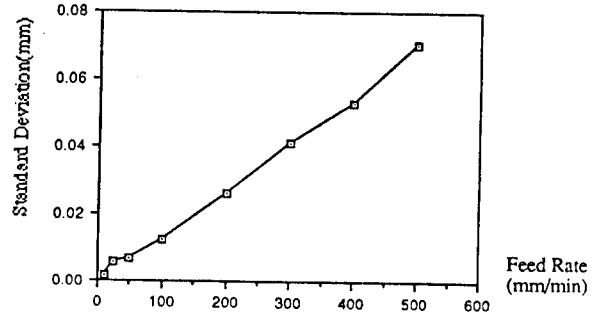
다. 측정 소프트웨어

터치프로브가 설치된 머시닝센터와 PC를 결합하여 다음과 같은 측정 기능을 부여할 수 있다.

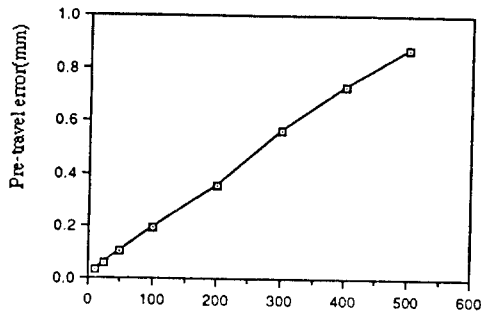
- 1) 가공프로그램 편집: 일반 에디터를 이용하여 편집후 CNC에 전송
- 2) 가공전 공작물의 정착정도(Fixturing Accuracy) 보정
무인가공시 공작기계에 투입된 Pallet에 고정된 가공물이 정위치에 고정이 되어 있는지를 측정하며, 필요시 Pallet Index Table을 회전 시키거나 좌표계(Work Coordinate Shift)를 이동하여 가공불량을 방지 한다.
- 3) 가공후 공작물의 형상 치수 측정 및 검사
- 4) 오차 및 공구 보정
사용하는 공구를 사용 전후에 측정하여 공구를 보정하며, 열변위등에 의한 정확도 오차를 보정한다. 또한 가공이 완료된 공작물의 형상 측정치를 이용하여 목



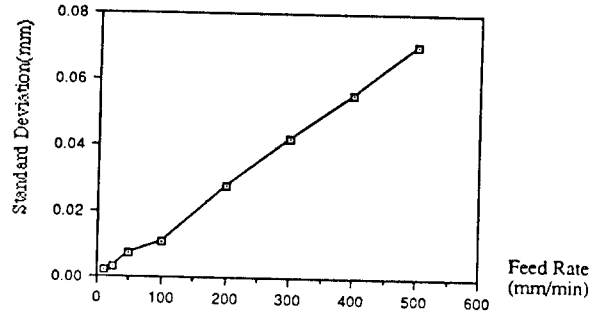
The trend of Pre-travel Error in terms of feed rates of the x axis



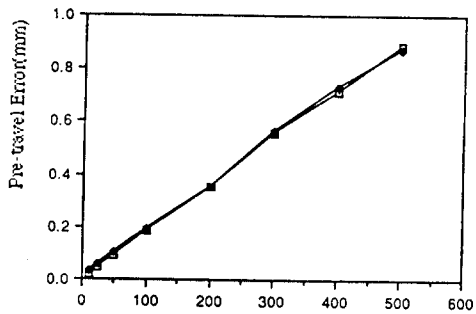
The trend of Standard Deviation in terms of feed rates of the x axis



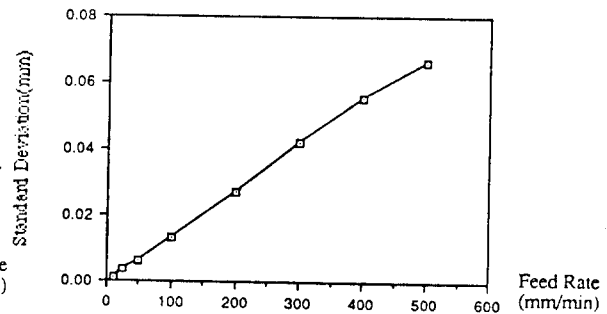
The trend of Pre-travel Error in terms of feed rates of the y axis



The trend of Standard Deviation in terms of feed rates of the y axis



The trend of Pre-travel Error in terms of feed rates of the x and y axes



The trend of Standard Deviation in terms of feed rates of the z axis

그림 6. 이송속도 변화에 대한 Pre travel Error와 표준편차

표치에 대한 오차를 산출하고 이 오차량 만큼 가공원점, 공구경, 공구장을 보정하여 품질이 균일한 가공품을 연속 생산 하도록 한다.

5) Reverse Engineering

설계도면이 없는 모델의 형상을 측정(Digitizing)하여 측정치를 컴퓨터로 전송한다. 이 측정치는 CAD 형상으로 변환되며 필요한 경우 편집을 할 수 있다. 가공을 위하여 공구 경로 및 NC 프로그램이 생성되며 머시닝 센터로부터 역가공이 가능하게 된다. Reverse Engineering을 위해 본 시스템에는 MAETRACE 측정 소프트웨어를 사용했다. 그림 7에 측정된 점 데이터를 이용해 컴퓨터에서 생성한 CAD Wire Frame이 나타나 있으며 그림 8에 Reverse Engineering에 의한 형상 복사 모델을 나타 내었다. 여기서는 비서스상을 모델로 이용하였다.

이러한 기능들에 대한 구성도가 그림 9에 나타나 있다. 상기 기능중 2),3),4)는 현재 개발중에 있으며 1),5) 기능은 운용중에 있다.

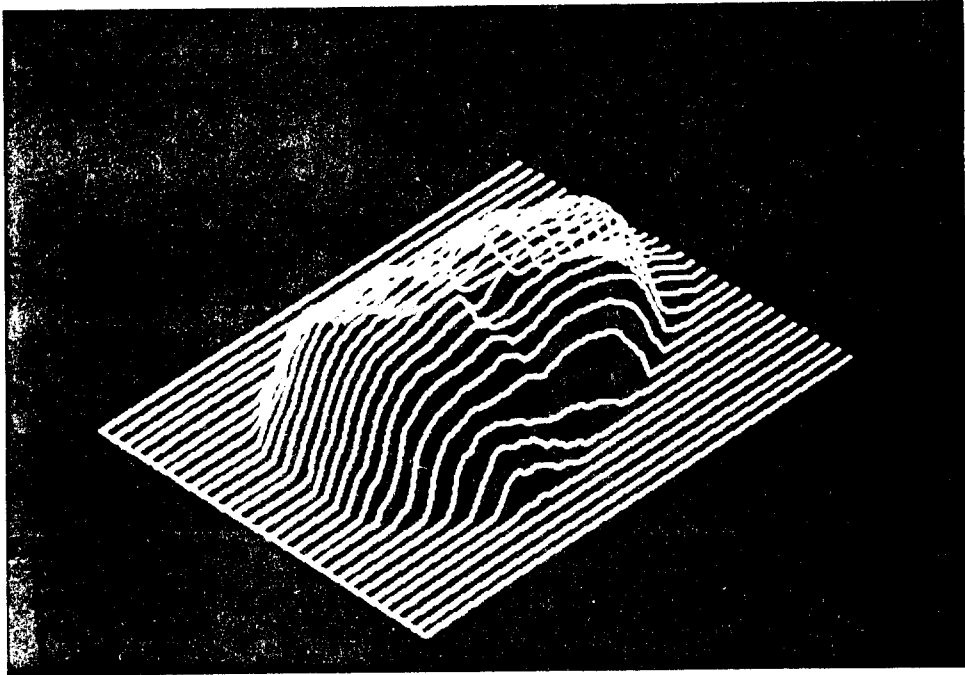


그림 7. 측정된 점 데이터를 이용한 Wire Frame

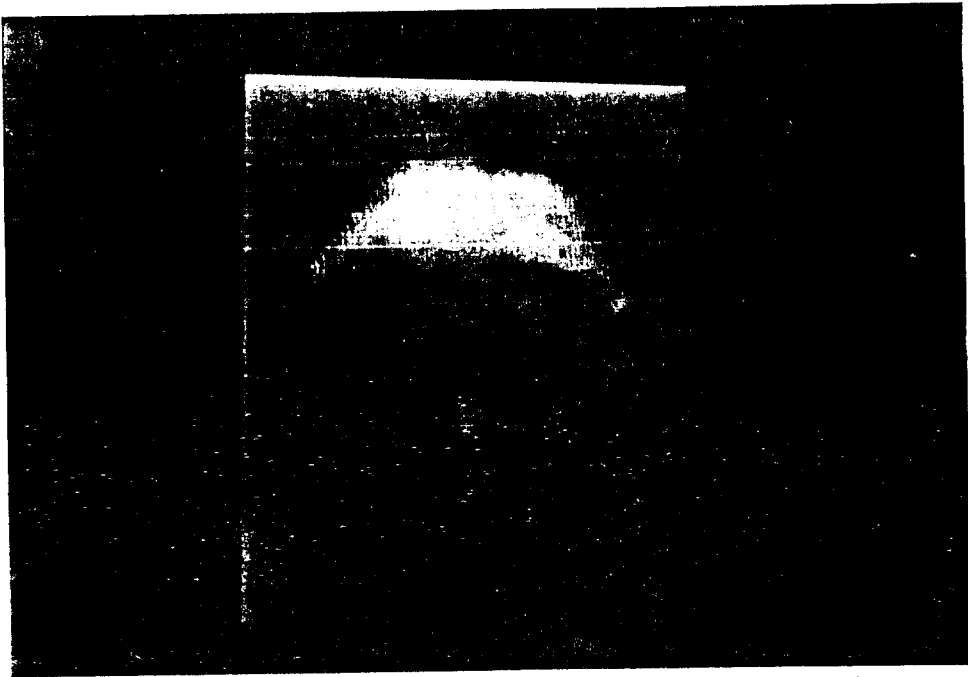


그림 8. Reverse Engineering에 의한 형상 복사

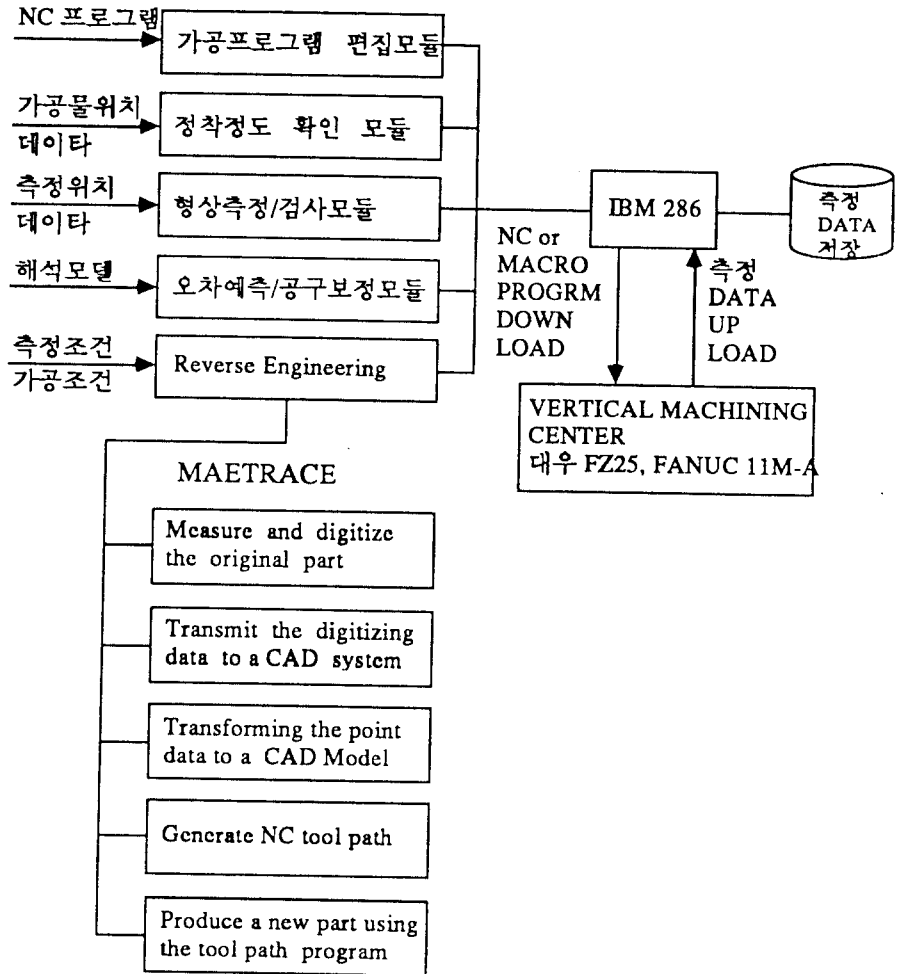


그림 9. 측정 시스템의 정보흐름도(머시닝센터)

IV. 결 론

FMC에서 이용할 수 있는 측정 시스템은 다양한 품종에 대응할 수 있으며 경제성이 있는 것이어야 한다. 별도의 측정 스테이션을 구축할 경우 3차원 측정기가 사용될 수 있으나 현장에서 사용하기 위해서는 진동, 먼지, 온도, 습도등을 고려하여야 하며, 이때문에 비용이 매우 높아진다. 선반이나 머시닝 센터에 설치된 측정 시스템은 3차원 측정기에 비해 측정오차가 커 현장에서 사용하기를 꺼려하고 있으나, 본 연구를 통해 오차의 특성을 찾아내어 보정을 하면 현장에서 사용하기에 적합한 시스템이 될 것이다. 선삭 FMC에 설치되어 있는 측정 시스템은 보정을 통해 $\pm 3\mu\text{m}$ 까지 정밀도를 향상시켜 현장에서 사용되는 대표적인 사례이다. 이러한 측정 시스템이 현장에서 신뢰성 있게 활용되기 위해서는 온도를 고려한 오차특성이 더 규명 되어야 할 것으로 판단된다.

09202(HWASUNG CALIB.)

G65P9203V75.052W160.X9.662Z169.424I74.J19.Q74.R19.E1.F1.A1.B1.

V[#22] : 프로브가 처음 이동하기 위한 X좌표 참고 값(외경)
W[#23] : 프로브가 처음 이동하기 위한 Z좌표 참고 값(외경)
X[#24] : 프로브가 처음 이동하기 위한 X좌표 참고 값(내경)
Z[#26] : 프로브가 처음 이동하기 위한 Z좌표 참고 값(내경)
I[#4] : 프로브의 오프셋을 잡기 위한 기준값
J[#5] : 즉, 1개를 가공한후 실제 치수 입력(외경,내경)
Q[#17] : 치수관리 항목
R[#17] : 즉,가공되어야할 도면치수
E[#8] : 검사주기(외경)
F[#9] : 검사주기(내경)
A[#1] : 마모상한(외경)
B[#2] : 마모상한(내경)

프로그램 1. 측정 MACRO PROGRAM의 입력 데이터 예

V. 참 고 문 헌

- 1) Keytack, H., James, M., Robert, J., "CMM Application In Reverse Engineering -Integrating CMM with CAD/CAM for Existing Parts without Drawings", SME Technical Paper MS89-529, 1989.
- 2) Neter, J., Wasserman, W., Kutner, M.H., "Applied Linear Regression Models", Richard D. Irwin, Inc., 1983.
- 3) Stephan D. Murppy, "In-Process Measurement and Control", Marcel Dekker, Inc., 1990.
- 4) Traylor, A., "Performance Characteristics of Touch Trigger Probes", SME Technical Paper MS90-266, 1990.
- 5) 김선호, 김선호, "자동 선삭셀에 적합한 인프로세스 측정/검사 시스템", '91 한국 자동제어학술회의논문집, Vol. 1, 1991.