

◆특집◆ 기상측정

기상계측을 통한 가공형상 측정 시스템

김선호*, 김동훈**

On-the-Machine Measurement System

Sun Ho Kim*, Dong Hoon Kim**

Key Words : OMM, Touch trigger probe, Scanning probe, Laser displacement sensor

1. 서론

소품종대량 가공시스템의 경우에는 가공된 부품의 형상이나 치수를 측정하거나 검사하기 위한 별도의 공정과 장비를 두는 것이 유리하다. 다품종 소량 가공시스템에서 생산되는 부품의 경우에는 이와 같은 방식은 비효율적일 수가 있다.⁽¹⁾ 따라서, 다품종소량 가공 시스템에서는 3차원 측정기 (Coordinate Measuring Machine; CMM)를 설치하여 운용하고 있으나, 투자비가 많이 들고 운용상 특별한 관리가 필요하며, 가공기와 측정기가 서로 다른 환경에서 운용되기 때문에 이를 고려하기 위한 열평형시간 등이 필요해 비경제적 요인이 되고 있다. 특히, 3차원 측정기의 한정된 크기 때문에 대형 가공물이라든지 제조공정 특성상 가공물의 분리가 어려운 경우에는 마땅한 측정 방법이 없는 실정이다.^(2,3)

이러한 문제들을 해결하기 위해, CNC(Computer

Numerical Control) 공작기계에서 가공이 완료된 후, 공구를 측정용 센서인 프로브(Probe)로 교체하여 기상계측 시스템(OMM, On-the-Machine Measurement)이 가능한 시스템이 연구되고 있다.^(4,5,6,7) 이러한 연구의 발전은 OMM 시스템의 근간인 공작기계의 정밀도와 다양하고 정밀한 측정용 센서의 발전에 기인한다. 공작기계 정밀도의 경우, 구조계의 최적화, 구동 및 이송계의 고정밀화, 열변형 보정기술 등에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 정밀 센서의 경우, 접촉식 및 비접촉식에 대한 다양한 고정밀도 제품의 등장으로 OMM에 대한 가능성을 더욱 밝게 해 주고 있다.

최근의 대표적인 연구로는 터치 트리거 프로브 (Touch Trigger Probe) 대신 스캐닝 프로브(Scanning Probe)를 이용함으로써 가공면의 프로파일을 고속으로 검출하기 위한 연구,^(2,4,13,16) 레이저 변위계를 측정 프로브로 사용하기 위한 연구,⁽⁷⁾ 공작기계에 3차원 측정기의 기능을 적용하여 공작기계를 복합기능화하기 위한 연구,^(5,20) CMM 공정을 OMM 공정으로 대체하고자 하는 경우 가장 큰 관심사인 오차를 원인별로 해석하고 분석하고자 하는 연구 등이 이루어졌다.⁽⁶⁾ 운용에 있어서는 CAD/CAM/CAI를 통합하기 위해 OMM 측정오차를 폐회로 구조에 의해 모델링하고자 하는 연구 등이 이루어져 왔다.⁽⁸⁾ 이러한 연구는 가공 생산성 향상, 공작기계의 복합기능화, 가공 시스템에서의 정보통합을 지향하고 있다는 점에서는 공통점을 가진다.

* 한국기계연구원 자동화연구부
Tel. 042-868-7146, Fax. 042-868-7150
Email ksh675@kimm.re.kr
생산 시스템 특히, 가공시스템의 지능화, 자동화, 개방화 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

** 한국기계연구원 자동화연구부
Tel. 042-868-7148, Fax. 042-868-7150
Email kdh680@kimm.re.kr
자동화, 개방화, 디지털 화상감시에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

Fig.1은 가공 시스템에 OMM 시스템을 적용했을 때, 개선된 가공 시스템의 흐름을 보여 주고 있다. OMM을 적용하는 경우, 공정이 단순해지는 특징을 가지지만, 공작기계의 운동계와 측정계의 운동계가 동일하기 때문에 공작기계가 갖는 체적오차, 가공 열에 의한 열변형 오차, 공구로부터 기인하는 오차 등이 OMM 측정값에 반영된다는 단점을 갖는다. 이것은 종래의 방법인 CMM 측정값을 기준으로 OMM 측정값을 비교할 때 OMM 시스템의 측정오차 원인이 되고 있다. OMM이 CMM을 대체하기 위해서는 이러한 단점을 보완할 수 있는 기술의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 기상계측 또는 역설계(Reverse Engineering)를 목적으로 연구되고 있는 가공형상 측정 시스템에 대한 연구동향과 결과들을 정리하고자 했다. 이를 위해 2장에서는 기상계측에 적용이 가능한 센서들에 대해 정리했으며, 3장에서는 터치 트리거 프로브를 이용한 기상계측, 4장에서는 스캐닝 프로브를 이용한 기상계측, 5장에서는 레이저를 이용한 기상계측에 대해 정리했다. 마지막, 7장에서는 기상계측 시스템의 성능을 향상시키기 위한 연구들을 정리했다.

2. 기상계측에 적용 가능한 센서

CNC 공작기계에서 OMM을 구성하기 위해 사용이 가능한 센서로는 3점 볼(Ball)의 접점신호를 이용한 터치 트리거 프로브, 스타일러스(Stylus)가 평행 이동기구를 갖는 스캐닝 프로브 및 비접촉

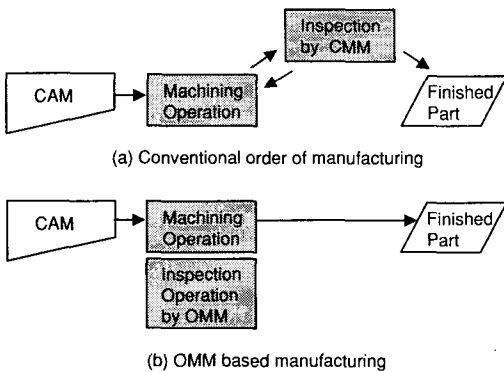
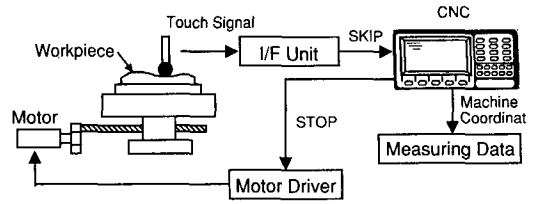
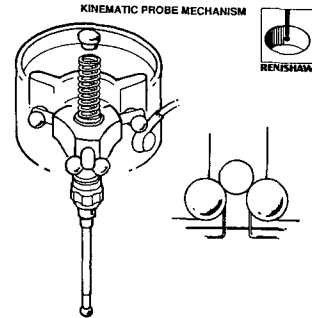


Fig. 1 Manufacturing process



(a) Signal flow of touch trigger probe



(b) Kinematic probe mechanism(Renishaw)
Fig. 2 Principle of touch trigger probe

방법인 레이저 변위계(Laser Displacement Sensor) 등이 있다.^(4,5,6,7)

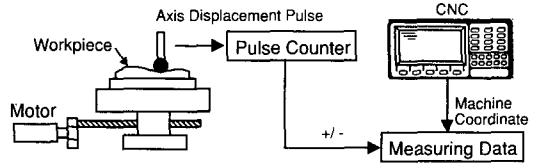
터치 프로브는 구조가 간단하다는 장점이 있으나, 3점 볼이 스타일러스를 지지하므로 측정방향에 따라 측정압의 차이가 발생하며, 초기 이동량이 변화하여 이로 인한 오차가 발생한다. 또한, 측정 원리상 측정물과 프로브가 접촉한 후 인터페이스 유닛을 통해 CNC에서 스킵(Skip) 신호를 입력받은 뒤, 그때의 기계좌표값을 측정값으로 하기 때문에 프로브의 이동속도에 따라 프리 트래블 에러(Pre Travel Error)를 가진다. 이에 대한 보상이 필요하며 측정속도가 비교적 느린 단점을 갖고 있다.^(9,10,11)

Fig.2는 터치 프로브를 신호체계와 그 예를 나타낸 것이다. Fig.2 (a)에 보이듯이 터치 프로브는 I/F Unit를 통해 CNC와 연결이 된다. CNC의 스킵 터미널은 PLC를 이용해 인터페이스 되기 때문에 신호처리에 따라 시간 지연을 가지게 된다. Fig.2 (b)는 그 구조 예를 나타낸 것이다.

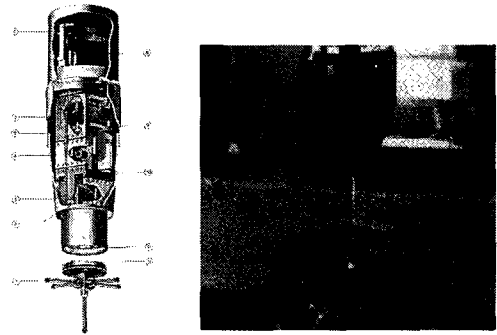
Fig.3은 터치 프로브의 구조상 발생하는 대표적 오차를 나타낸 것이다. (a)는 3점 볼이 갖는

특성에 따라 발생하는 프로빙 오차를 나타냈으며 (10) (b)는 신호지연에 따른 프리 트래블 오차를 나타낸 것이다.(11)

스캐닝 프로브는 스타일러스가 3축 평행 이동식 탄성기구를 가지기 때문에 탄성기구의 스케일 이동에 따른 펄스(Pulse) 출력을 연산하는 것에 의해 간단히 대상물의 형상측정이 가능하다. 특징은 높은 분해능을 가지면서도 고속측정이 가능하며, 수직형으로 측면에 대해서도 높은 정밀도를 얻을 수 있으며, 계측면의 재질 색 조도 광의 투과에 영향을 받지 않는다.(4,12,13) Fig.4는 스캐닝 프로브의 신호체계와 그 예를 나타낸 것이다. Fig.5 (a)에 보이듯이 스캐닝 프로브는 별도로 설치되는 펄스 카운터로 부터 OMM 측정장치와 연결이 된다. 이와 같은 방법은 신호처리에 따른 시간 지연을 방지할

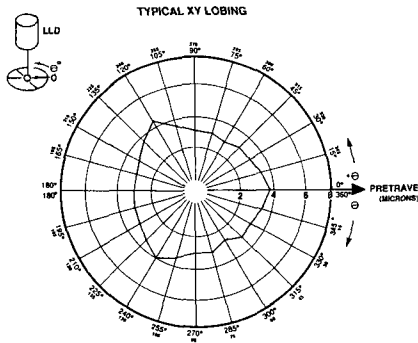


(a) Signal flow of scanning probe

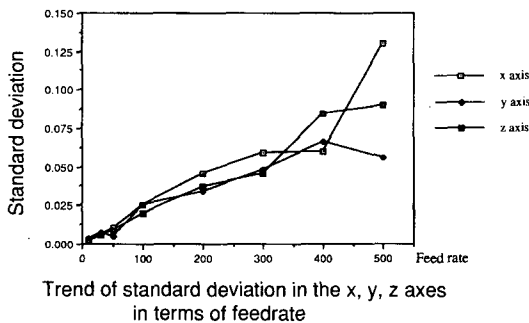


(b) Scanning probes(Zeiss & Renishaw)

Fig. 4 Principle of scanning probe



(a) Probing error



(b) Pre-travel error

Fig. 3 Errors of touch trigger probe

수 있는 장점을 가진다. Fig.5 (b)는 그 대표적인 예를 나타낸 것이다. 좌측 그림은 Zeiss 모델(14)을 나타내며 오른쪽은 Renishaw SP2-1 모델을 나타낸다.(12)

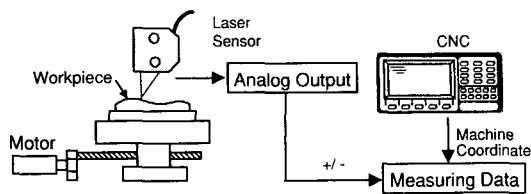
이에 비해, 레이저 변위계는 광축 방향으로만 측정이 가능하다는 단점을 가지지만, 높은 측정 정밀도를 얻을 수 있고 측정속도가 빠르며 거칠기 정보와 형상정보를 동시에 얻을 수 있는 장점을 갖는다. 반도체 레이저를 이용한 변위계는 수광부가 PSD(Position Sensitive Detector)형과 CCD(Charge Coupled Device)형이 있다. PSD형의 경우 가장 폭 넓게 사용이 되고 있는 방법으로, 측정원리는 광소자로 들어오는 전체 스폿의 광량 분포상태를 이용하여 스폿 중심을 찾는다. 광량 분포는 피측정면의 반사율, 거칠기, 색 등의 영향을 받는다. 따라서 정확도가 떨어지는 측정기 또는 제한된 환경에서의 고정밀 측정기에 적용이 되고 있다. CCD형의 경우에는 각 픽셀에 대한 스폿의 광량 분포의 피트치를 찾아 대상물의 위치를 찾기 때문에 환경적인 요인을 거의 받지 않는 장점이 있다.(7) Fig.5은 레이저 변위계를 이용한 기상측정의 신호 체계와 그 예를 나타낸 것이다. Fig.6 (a)에 보이듯

이 레이저 변위계는 별도로 설치되는 A/D 변환기로부터 OMM 측정장치와 연결이 된다. Fig.5 (b)는 그 대표적인 예를 나타낸 것이다. 좌측 그림은 Keyence 모델을 나타내며 오른쪽은 Renishaw 모델을 나타낸다.^(15,16)

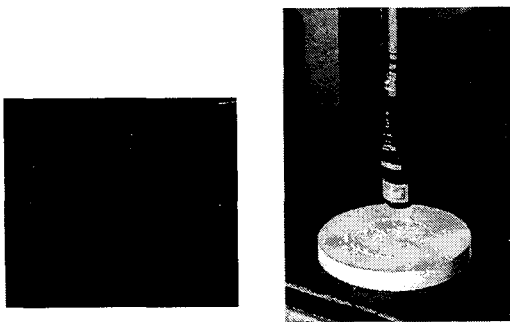
최근, Wolfbeck사⁽¹⁷⁾에서는 Fig.6과 같은 새로운 개념의 레이저 프로브를 상품화했다. 특징은 Receiver가 링 구조를 하고 있어 기존의 광삼각법을 이용하는 것 보다 정확한 측정이 가능하다는 것이 큰 장점이 될 수 있다. 그러나, 센서로서 PSD를 사용 한다는 것이 단점이 될 수 있다. 또한, 다양하고 높은 정밀도를 갖는 레이저 스캐너도 상품화되고 있다. Fig.6의 우측 그림은 Micromesura사⁽¹⁸⁾가 2001년 Euro Mold에서 출품한 제품으로 향후, 기상 측정 시스템으로서 적용 가능성이 높은 제품이라 할 수 있다.

3. 터치 트리거 프로브를 적용한 기상계측⁽¹⁹⁾

터치 프로브를 적용해 OMM 시스템을 구성하는 것은 가장 역사가 오래되었고 간단하다. 일반적인



(a) Signal flow of Laser probe



(b) Laser probes(Keyance & Renishaw)

Fig. 5 Principle of Laser probe

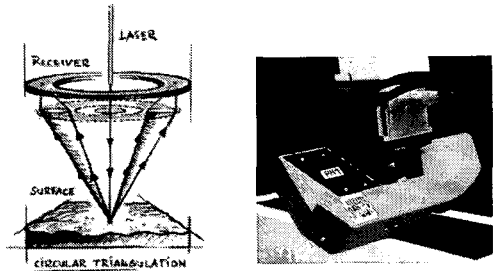


Fig. 6 Laser probe with ring type receiver and Laser scanner

로 사용되는 터치 프로브는 Renishaw사의 TP형이다. 구성된 간단한 예를 Fig.7에 나타내었다. 터치 트리거 프로브는 스타일러스와 피측정물의 접촉신호를 I/F 유니트에 전달하고, I/F 유니트는 CNC에 전달하는 방식이 이용된다. CNC에서는 스킵 함수를 이용해 신호를 입력 받으며 수행은 G31을 이용하게 된다. 터치 프로브의 접촉신호를 I/F 유니트에 전달하는 방식으로는 와이어 방식, 유도방식, 광신호 방식 등 세가지 방식이 있다. 와이어 방식은 동축 와이어를 이용해 직접 연결하는 방식이며 이는 공구교환을 필요로 하지 않는 밀링머신 등에 적용이 가능하다. 유도방식은 유도신호를 이용하는 방식이며 비접촉식 방법이다. 광신호 방식은 프로브에서 발생시키는 적외선 신호를 이용해 신호를 발생시키는 방식으로 공구교환을 필요로 하는 머시닝 센터에 적용이 용이하다. Fig.7은 광신호 방식을 적용한 기상측정 시스템을 나타낸다.

이러한 측정 시스템을 운영하기 위해서는 PC측에서의 운용 프로그램과 NC측에서의 측정 프로그램을 필요로 한다. PC 측에서는 일반적인 RS232C 통신 프로그램을 활용하면 가능하며, NC측에서는 커스텀 매크로 프로그램을 필요로 한다. 이러한 방법으로 측정된 결과를 Fig.8 (a)에 나타내었다.

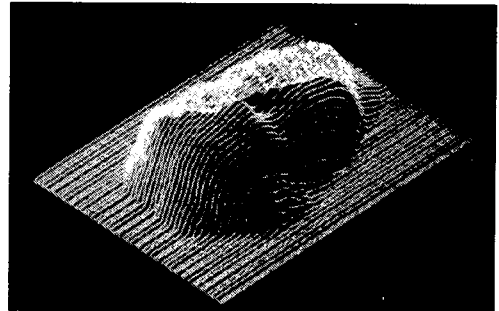
이상과 같은 시스템을 이용하면 역공학(Reverse Engineering)에도 적용이 가능하다. 일반적으로 3차원 형상을 갖는 부품을 만드는 방법으로는 CAD에서 형상을 정의하고 이를 바탕으로 CNC 머신에서 가공을 수행하는 방법이 일반적이다. 그러나, 형상이 심미적이거나 정의가 어려운 경우에는 모형(Mock-Up)을 미리 만들고 이를 이용해 3차원 형상 데이터를 수집하고, 이를 이용해 가공을 수행하는

방법이 있다. 이 경우 주로 CMM이 이용되어 왔다.

그러나, CMM의 경우 취급이 용이치 않고 형상에 큰 부품에는 적용이 어려운 단점이 있다. 이러한 어려움은 기상측정 시스템을 이용해 해결이 가능하다. Fig.8 (a)는 비너스 얼굴을 역공학에 의해 3차원 형상 데이터를 수집하고 이를 디스플레이 한 예이다. 이러한 결과를 이용하여 형상을 수정하거나, 뒤집기, 크기변환 등이 가능하다. 기상측정 시스템을 이용해 측정을 하고 역공학에 의해 가공한 제품을 Fig.8 (b)에 나타내었다.

4. 스캐닝 프로브를 적용한 기상계측⁽⁴⁾

터치 프로브를 이용한 기상측정 시스템은 구성이 간단하다는 장점이 있는 반면, 측정속도가 느리다는 단점을 가진다. 4장에서는 이러한 단점을 보완하기 위한 스캐닝 프로브를 이용한 기상측정 시스템을 소개한다. 스캐닝 프로브를 이용해 3차원 형상을 측정하기 위해 구성된 시스템을 Fig.9에 나타내었다. OMM 운용 소프트웨어가 탑재된 PC와 측정 프로브가 설치된 CNC 공작기계는 PC에서 작성된 측정 프로그램의 송신, 측정위치 데이터 수신을 위해서는 RS232C로 연결되어 있으며, 자동측정을 위한 CNC 스킵 입력은 PC에 설치된 DIO(Digital Input Output) Board와 연결되어 있다. CNC 주축에 설치된 스캐닝 프로브는 1축당



(a) OMM measurement data of Vinus face



(b) Machined parts using Reverse Engineering
Fig.8 Reverse engineering using OMM system(KIMM)

4개의 상(相) A, \bar{A}, B, \bar{B} 데이터가 EIA-422-A 형식으로 출력된다. 출력되는 신호는 1주기가 $4\mu\text{m}$ 이기 때문에 이를 $1\mu\text{m}$ 으로 체배시키기 위해 특별히 제작된 4체배 펄스 카운터를 사용하여 필요한 주기로 펄스값을 업다운(Up Down) 방식으로 누산한다.

스캐닝 프로브의 특성을 고려하면 두가지의 3차원 형상 측정 소프트웨어가 개발이 가능하다.⁽⁴⁾ 가공된 3차원 형상을 측정하거나 검사하는 방법으로 가공면 전체를 검사하는 방법도 있지만, 한 단면을 선택해서 단면을 검사하는 방법이 있다. 연속측정(Continuous Path Measurement)은 3차원 곡면중에서 한 단면을 선택해서 가공정도를 연속 측정하는 방법이다. CP 측정법에 측정된 결과를 Fig.10 (a)에 나타내었다.

3차원 형상을 측정하는 방법으로 CAD 설계 데이터를 기준으로 금형의 전체를 측정하는 방법이 점대점 측정 방법이다. 이는 전면(全面)을 측정하

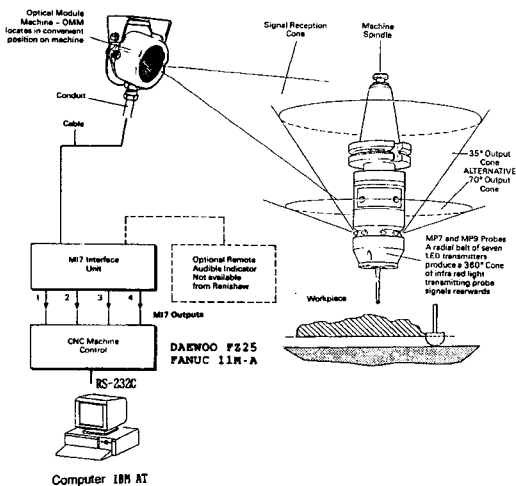
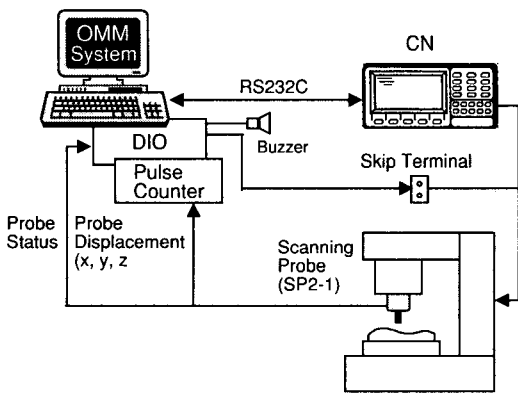


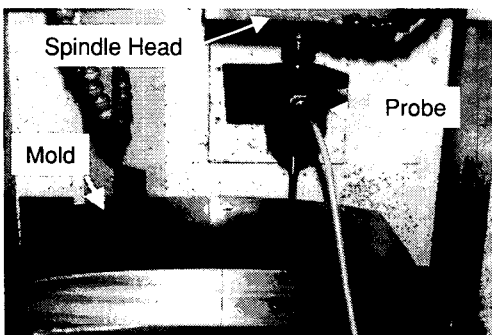
Fig. 7 OMM system using touch trigger probe

기 위해 측정정보를 설계 데이터에서 받아서 각각의 X,Y 좌표에 대한 Z좌표 값을 입력하여 측정 프로그램을 생성한 후 NC로 전송한다. 측정용 매크로 프로그램은 PC에서 생성하는 측정좌표 정보를 가지는 1개의 주 프로그램과 측정할 X위치, 측정할 Y위치 그리고 프로브가 측정을 위해 접근할 Z위치 및 측정좌표 전송용 등 서브 프로그램으로 구성하여 유연성을 부여했다. NC에서는 매크로 프로그램에 의해 각 1점대점을 측정할 때 마다 측정좌표 X_p, Y_p, Z_p 를 PC로 송신한다. PC에서는 좌표를 수신받은 후 그때의 프로브 변위 값 X_c, Y_c, Z_c 를 읽는다. 이를 토대로 X_m, Y_m, Z_m 를 구한다. PTP 측정법에 의해 측정된 결과를 Fig. 15 (b)에 나타내었다.

스캐닝 프로브를 이용한 형상측정 시스템은

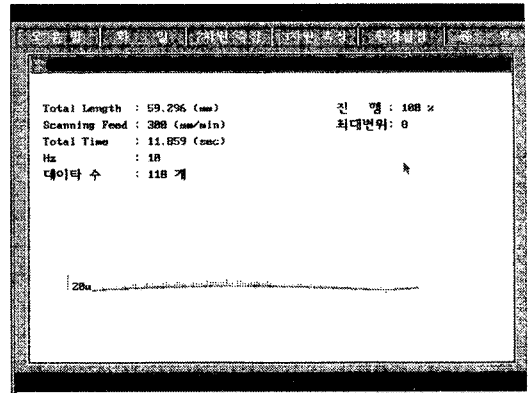


(a) System configuration

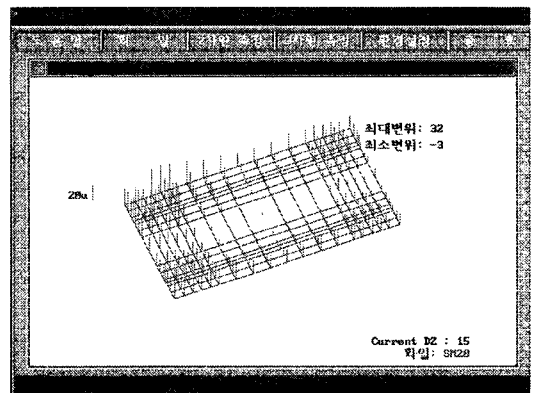


(b) TV shadow mask measurement

Fig. 9 OMM system with scanning probe



(a) Continuous Path measurement



(b) Point To Point measurement

Fig. 10 Measured results using scanning probe

Renishaw에서 상용화된 제품도 있다.⁽¹⁶⁾ Fig.11은 동사에서 상용화한 RENSCAN이란 제품을 나타낸 것이다. 프로브는 SP2-1을 사용하고 있으며 측정용 소프트웨어로는 TRACECUT을 적용하고 있다. 이 제품의 특징으로는 기계좌표를 PC에서 얻는 방법으로 각축의 엔코더 신호를 인터럽트하여 사용하고 있다. 이러한 장치를 통해 고속측정에 대응하고 있다.

Fig.12는 일본 FANUC에서 상용화한 스캐닝 프로브를 이용한 기상측정 시스템의 예를 나타낸 것이다.⁽²⁰⁾ 프로브는 SP2-1을 사용하고 있으며 측정용 소프트웨어로는 TRACECUT을 적용하고 있다. 이 제품의 특징으로는 기계좌표를 PC에서 얻는 방법으로 FSSB라는 FANUC 시스템을 이용하고 있는 것이 특징이다.

5. 레이저 센서를 적용한 기상계측⁽⁷⁾

5장에서 레이저 센서를 이용한 기상계측 시스템을 소개한다. 2장에서 소개한 바와 같이, 레이저 변위계는 광축 방향으로만 측정이 가능하다는 단점을 가지지만, 높은 측정 정밀도를 얻을 수 있고 측정속도가 빠르며 거칠기 정보와 형상정보를 동시에 얻을 수 있는 장점을 갖는다. Fig.13에 레이저 변위 센서를 이용해 형상정보와 거칠기 정보를 동시에 측정 가능한 OMM 시스템의 구성 예를 나타냈다. 가공면의 형상과 거칠기를 측정하기 위한 레이저 변위계는 1 μ m 까지 측정이 가능하고, 1kHz로 아날로그 출력이 가능한 것이 사용되었으며, 가공 후 주축에 설치되어 측정을 수행한다. 여기서는 다양한 가공면에 적용하기에 용이한 CCD형이 사용되었다. OMM을 위해서 CAD에서 정의된 가공물의 형상은 2가지의 NC 프로그램을 생성한다. 가공용 NC 프로그램은 공구의 직경과 가공오차(Tolerance)를 고려하여 생성된다. 측정용 NC 프로그램은 레이저의 스폿 사이즈(Spot Size)와

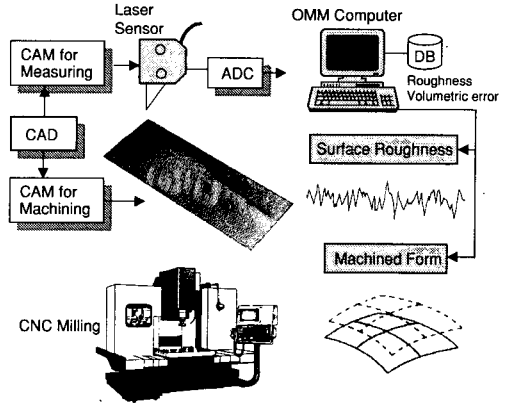


Fig. 13 System configuration of Laser based OMM

CAD에서 정의된 형상을 최대한 반영하여 NC 프로그램을 생성한다. 가공용 및 측정용 NC 프로그램은 OMM 컴퓨터에서 CNC로 DNC(Direct Numerical Controller)를 이용하여 전송한다. 레이저로부터 출력되는 측정값은 OMM 컴퓨터로 ADC(Analog to Digital Converter)를 통해 입력된다. 입력된 신호는 적절한 데이터 처리를 통해 가공면 거칠기와 형상오차로 표현된다.

레이저 변위계를 측정 프로브로 한 기상계측 시스템을 이용해서 측정된 결과의 한 예를 Fig.14에 나타내었다. 측정은 500 mm/min. 속도로 이루어졌다. Fig.14 (a)에서 가로축은 Y축 위치를 나타내며 세로축은 측정된 형상오차를 나타낸다. 레이저의 측정 분해능은 1 μ m 단위로 측정했으며 측정 주파수는 1 kHz 그리고 12 비트 ADC가 사용되었다. 그림에서 양의 값은 언더 컷(Under Cut)을 나타내며 음의 값은 오버 컷(Over Cut)을 나타낸다. Fig.14 (a)에서 작은 그래프는 얻어진 데이터를 이용해 가공면 거칠기를 추정하기 위한 기준시편(JISB0659에서 정의하는 밀링용 R_{max} 12)의 거칠기 측정 예를 나타낸 것이다. 기준시편의 경우에도 500 mm/min. 속도로 측정되었으며 레이저 스폿 직경이 30 μ m인 것을 고려해 500Hz로 샘플링 되었다. 즉, 측정간격은 스폿 직경의 절반 정도가 되도록 했다. 기준시편 거칠기와 산과 산의 높이를 비교해 보면 측정된 가공면 거칠기는 평균적으로 R_{max} 10 정도로 추정된다.

측정된 신호를 이용해 형상오차를 추출하는 방

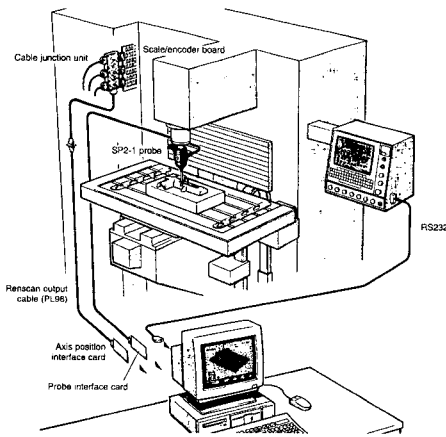


Fig. 11 RENSCAN 250(Renishaw)

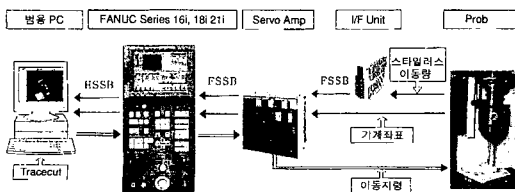
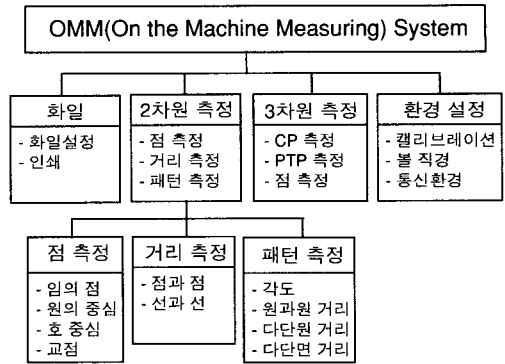


Fig. 12 OMM system of FANUC

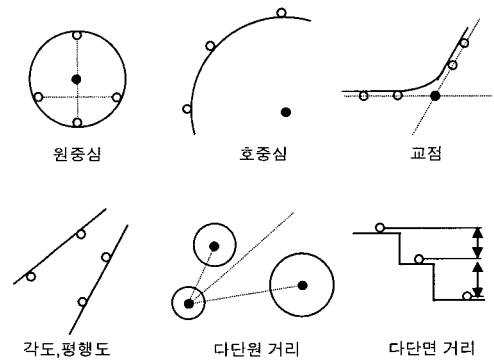
법으로는 이동평균(Moving Average)을 이용해 필터링하는 방법이 가장 쉽게 접근할 수 있다. Fig.14 (b)는 (a)에 이동평준을 적용한 것이다. 그림에 보이듯이 언더 컷과 오버 컷의 특징이 명확하게 나타나고 있다.

6. 기상측정 시스템에 CMM 기능을 부여하기 위한 연구⁽⁵⁾

기상측정 시스템에 CMM 기능을 부여하기 위한 많은 연구들이 있어 왔다.^(5,20) 이것은 PC를 기반으로 하는 시스템과⁽⁵⁾ CNC를 기반으로 하는 시스템⁽²⁰⁾ 등 두가지 방법으로 연구가 이루어지고 있다. Fig.15는 기상측정 시스템에서 CMM 기능을 부여하기 위한 운영 소프트웨어를 나타낸 것이다. 4개의 주 모듈과 이를 구성하는 약 21개의 서브 모듈로 구성되어 있다. 측정 시스템의 주 기능은 프레스 금형을 대상으로 한 2차원 측정과 사출 금형 측정을 위한 3차원 측정이 있다. 2차원 측정은 점, 거리 등의 평면상의 위치를 측정할 때 사용되며 점, 점과 점의 거리, 직선과 점의 거리, 패턴 등으로 구성되어 있다. 점은 임의의 위치 점, 원 중심, 원호 중심, 가상좌표 등으로 생각할 수 있다. 점과 점사이의 거리(ΔX , ΔY , ΔZ)는 시작점과 끝점을 정하여 수동조작과 관련된 매크로 프로그램을 통하여 측정값을 입력 받게 된다. 원호의 경



(a) Menu of OMM



(b) Measurement functions

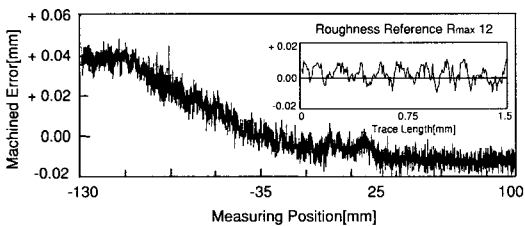
Fig. 15 Software for OMM with CMM function

우 복잡한 형상을 가진 가공물에서 실제 존재하지 않는 호의 중심점 및 반경측정이 가능 하다. 또한 금형 측정시 자주 사용되는 각도, 원중심과 원중심, 다단점, 다단원 등의 측정 형상을 패턴화 하여 측정에 소요되는 시간과 과정을 단축할 수 있도록 하였으며 Fig.15에 2차원 측정기능을 나타내었다.

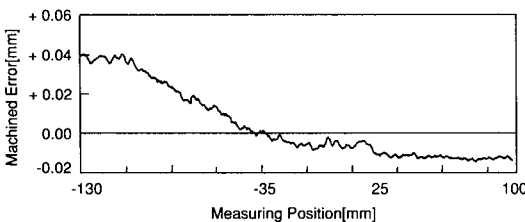
7. OMM 성능향상을 위한 연구^(6,21)

7.1 기상측정 시스템의 정밀도에 영향을 주는 인자들⁽⁶⁾

일반적으로 CMM에서의 측정은 팔렛이 언클램프된 상태에서 수행되며, 측정시 발생한 열이나 기계오차, 가공물의 탄성회복 등 여러 가지 영향이 제거되고 제품으로서 사용 가능한



(a) Roughness topography



(b) Machined error

Fig. 14 Measured data using Laser probe

상태에서 측정되는 것이 일반적이다. 그러나 OMM에서는 이러한 요인으로 인한 오차가 측정값에 포함되는 단점을 가진다. 그 이유는 측정 시스템과 가공 시스템이 동일하기 때문이다. Fig.16은 이들 항목을 계통적으로 나타낸 예이다. 또한, Fig.10과 동일한 피측정물에 대해, 이들 각각의 영향을 실험적으로 분석한 결과를 Fig.17에 나타내었다. 분석한 결과를 보면 공작물을 공작기계에 설치할 때 발생하는 오차가 가장 크다는 것을 알 수 있다.

7.2 공작물의 고정환경으로 부터 발생하는 오차^(6,21)

OMM의 경우 공작물이 테이블에 구속된 상태에서 측정이 이루어지지만, CMM의 경우 자유상태에서 측정이 이루어진다. 일반적으로 공작물은 팔렛에 고정된 상태로 공정간 이동이 이루어진다. 공작기계의 테이블면과 시편을 고정한 팔렛의 접촉면이 이상적인 평면을 이루게 되면 팔렛을 테이블에 고정할 때 발생하는 변형은 없다. 그러나, 팔렛을 테이블에 이상적인 면접촉을 시키는 것은 대

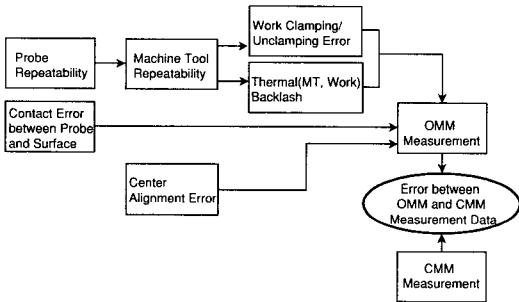


Fig. 16 OMM error sources

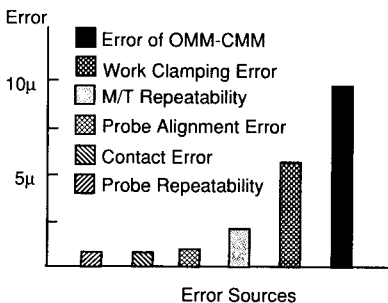


Fig.17 Errors between OMM and CMM measurement

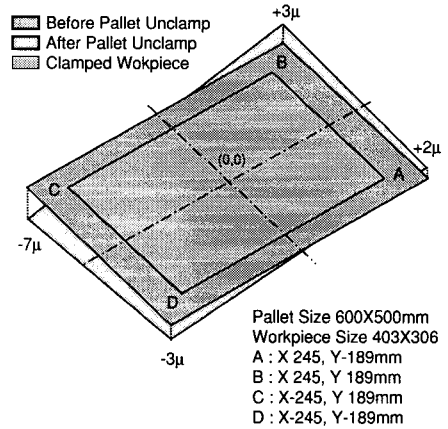


Fig. 18 Elastic recovery of pallet with workpiece

단히 어렵다. 완벽히 면접촉을 이루지 못한 부분은 클램프시에 탄성변형을 하게된다. 이러한 탄성 변형은 언 클램프시 탄성회복을 하게되고 이것은 CMM 측정치에 반영되어 OMM의 오차가 된다. 이를 실험적으로 분석한 것이 Fig.17이다. Fig. 18은 가공 후 팔렛이 테이블에 클램프된 상태에서 언 클램프될 때 팔렛 코너부의 4개 측정점에서의 탄성회복에 따른 높이 변화를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 측정방법은 공작기계의 주축에 다이얼 게이지를 설치하고 팔렛의 언클램프 전후 각각 A, B, C, D 4점을 측정했다. 그림에서 보듯이 팔렛은 언 클램프 후, 탄성회복된 것을 알 수 있다. 팔렛의 탄성 회복량이 가공물에 미치는 영향을 조사해 보면 동일한 결과를 얻을 수 있다.^(6,21)

Fig.18과 같은 결과를 OMM 측정치에 반영을 하여 탄성회복량이 보상된 결과를 Fig.19에 나타내었다. OMM 측정치에 미리 측정된 공작물의 3점 변화에 대한 탄성회복량 예측치를 반영하여 보상한 결과 64% 정도의 측정 정확도의 향상이 가능했다.⁽²¹⁾

8. 결론

OMM 시스템은 공작기계의 정밀도 향상과 다양하고 정밀한 측정용 센서의 발전으로 많은 발전이 기대되는 연구분야이다. 본 논문에서는 기상계측 또는 역설계(Reverse Engineering)를 목적으로

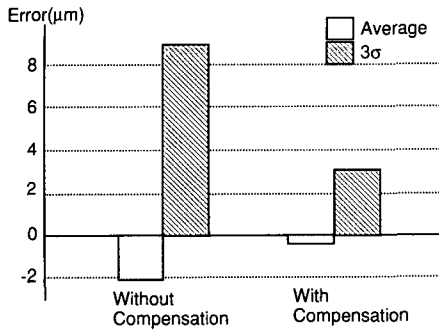


Fig. 19 Measurement error between OMM and CMM after error compensation

연구되고 있는 가공형상 측정 시스템에 대한 연구 동향과 결과들을 정리했다. 이를 위해, 기상계측에 적용이 가능한 센서의 종류와 특징, 터치 트리거 프로브를 이용한 기상계측, 스캐닝 프로브를 이용한 기상계측, 레이저를 이용한 계상계측에 대한 다양한 연구결과들을 정리했다.

기상측정 시스템이 가공 시스템에 적용되면 공정이 단순해지는 특징을 가지지만, 공작기계의 운동계와 측정계의 운동계가 동일하기 때문에 공작기계가 갖는 체적오차, 가공열에 의한 열변형 오차, 공구로부터 기인하는 오차 등이 측정값에 반영된다는 단점을 갖는다. 따라서 기상측정 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 이러한 분야에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 연구팀에서는 이러한 문제점을 OMM에 반영하면서 공작기계 CNC에 실장이 가능한 시스템을 개발중에 있다. 이러한 연구는 공작기계가 가공기능과 측정기능을 동시에 갖는 수행할 수 있는 복합기능 공작기계를 실현하는데 많은 기여를 하게 될 것이다.

참고문헌

1. Owen, J. V., "CMMs on the shop floor," *Manufacturing Engineering*, April, pp. 66-70, 1991.
2. Keizo, U., "Die & mold 3-dimensional measuring on the machine," *Conf. on Die and Mold Technology*, pp.208~209, 1994.
3. 이춘식, 김선호, "삼차원 측정기의 CAD/CAM 응용," *대한기계학회지*, 제32권 제5호, pp. 456-464, 1992.
4. 김선호, 김인훈, "Scanning Probe를 이용한 OMM(On

- the Machine Measuring) 시스템 개발 및 평가," *한국정밀공학회지*, 제13권 제10호, pp. 71-77, 1996.
5. 이승우, 김선호, "기상측정 시스템 개발," *대한산업공학회지*, 제10권 제1호, pp. 199-205, 1998.
6. 이상준, 김선호, 김옥현, "OMM 시스템의 측정오차 해석," *한국정밀공학회지*, 제15권 제5호, pp. 34-42, 1998.
7. 이상준, 김선호, 김옥현, "기계 체적오차가 고려된 가공형상-거칠기 측정 OMM 시스템," *한국정밀공학회지*, 제17권 제7호, pp.232-240, 2000.
8. 조명우, 이세희, 서태일, "CAD/CAM/CAI 통합에 기초한 자유곡면의 OMM : I 측정오차 모델링," *한국정밀공학회지*, 제16권, 제10호, pp. 172-181, 1999.
9. Kreuci, J. V., "CMM measurement enhancement using probe compensation algorithms" *SME Technical Paper MS90-09*, 1990.
10. Taylor, A., "Performance characteristics of touch trigger probes," *SME Technical Paper MS90-266*, 1990.
11. 김선호, 김선호, "무인 선삭셀에서의 측정/검사 시스템," *대한산업공학회지*, 제5권 1호, pp. 15-23, pp. 87-99, 1992.
12. Renishaw plc, SP2-1 Scanning Probe Users Guide H-2000-5115-01-B, 1994.
13. 島淳, "고속 Digitizing 機能を容易に實現する FANUC RENSCAN 400," *機械と工具*, pp. 64-68, 2000.2
14. Verlag moderne industrie, *Coordinate Metrology*, pp.19, 1990.
15. www.keyance.com
16. www.renishaw.com
17. www.wolfbeck.com
18. www.micromesure.de
19. 김선호, 김선호, 이춘식, "무인 FMC에서의 인터프로세스(Inter-Process) 3차원 측정," *대한산업공학회 춘계 학술대회 논문집*, pp. 29-38, 1992.
20. 김경돈, 정성종, "NC 공작기계상에서의 측정 및 검사모듈의 설계와 구현," *한국정밀공학회지*, 제15권 제4호, pp. 91-97, 1998.
21. Kim, S. H., Ko, T. J. and Ahn, J. H., "Improving accuracy in On-The-Machine Measurement," *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*(Submitted for Print)