

OMM 시스템에서의 측정오차 해석

이 상 준*, 김 선 호**, 김 옥 현***

The Analysis of Measuring Error in OMM System

Sang-Jun Lee*, Sun Ho Kim**, Ock-Hyun Kim***

ABSTRACT

This paper describes an analysis of measuring error of on the machine measuring(OMM) system which directly measures machined surface dimensions using scanning probe on a CNC milling machine. 21 inch TV shadow mask mould clamped to a pallet was measured using PTP(point to point) measuring algorithm in OMM system and the results were compared with those using coordinate measuring machine(CMM). The OMM error was evaluated by probe error, stylus contact error, center shift error, repeatability, work-piece clamping error and etc. The results show that elastic deformation of the pallet is most affecting factor on the measuring error, thus pallet design and clamping method need very careful considerations.

Key Words : On the Machine Measuring (OMM) System(機上測定 시스템), Scanning Probe(스캐닝 프로브), Point to Point(PTP) Measurement(점대점 측정)

1. 서 론

대량 생산시스템의 경우에는 전용 측정 및 검사공정을 두는 것이 일반적으로 유리하지만, 금형 등과 같이 다품종 소량 생산시스템에 적합한 제품의 경우에는 이와 같은 방식은 비효율적일 수가 있다.⁽¹⁾ 따라서 가공이 끝난 제품을 검사하기 위해 대부분의 금형 제조라인에서는 3차원 측정기(Coordinate Measuring Machine: CMM)를 설치하여 운용하고 있으나, 고비용이며 관리가 어렵고 설치 및 측정시간이 길어져 비경제적이며, 또한 측정을 위한 가공물 이동 시간은 생산성 저하 요인이 되고 있다. 특히 3차원 측정기의 한정된 크기 때문에 대형 가공물이라

든지 공정 특성상 가공물의 분리가 어려운 경우에는 마땅한 측정 방법이 없는 실정이다.

이러한 문제들을 해결하기 위해, CNC 공작기계에서 제품의 가공이 완료된 후, 공구를 측정용 센서인 프로브(Probe)로 교체하여 OMM (機上測定 : On the Machine Measuring : OMM)이 가능한 시스템이 연구되고 있으며,^(2,3) 그 결과 검사공정이 단순해지고 측정 후의 연마, 수정가공 등의 효율적인 수행이 기대된다.

Fig. 1은 OMM 시스템의 적용시 개선된 생산시스템의 흐름을 보여 주고 있다. 그러나 OMM 시스템은 작업 환경, 프로브와 공작기계가 갖는 각종 오차, 공구를 프로브로 교체할 때 발생하는 중심점의 차이에 따른 프로브 설

* 대전전문대학 기계자동차제열
 ** 한국기계연구원 자동화연구부
 *** 충북대학교 기계공학부

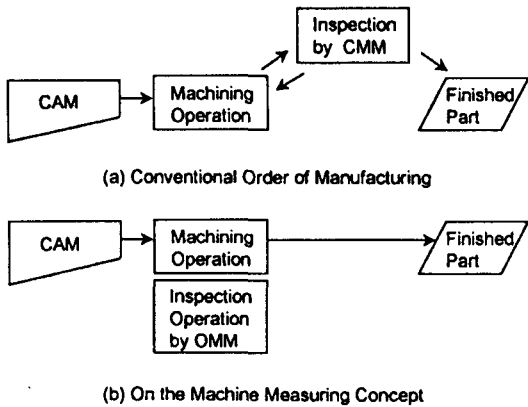


Fig. 1 Concept of OMM system

치 오차, 공작기계와 가공물의 열변형, 가공을 위해 공작물을 테이블에 체결할 때 발생하는 공작물의 탄성 변형 및 회복 등이 OMM 측정치에 반영된다. 이것은 종래의 방법인 CMM 측정치를 기준으로 OMM 측정치를 비교할 때 OMM 시스템의 측정오차의 원인이 되고 있다.

본 논문은 공정상 가공 후 機外에서 CMM을 통해 기하학적 가공 정밀도를 검사한 후, 제품으로서 완성이 되고 있는 금형을 대상으로 CMM 공정을 OMM 공정으로 대체하고자 하는 경우 가장 큰 관심사인 오차를 원인별로 해석하고 분석하고자 했다. 개발된 OMM 시스템의 오차를 분석하는 방법으로는 시편을 기존의 방법대로 CMM을 이용해 측정하고, 또한 개발된 OMM을 이용해 측정해서 두가지 측정 결과를 CMM을 기준으로 하여 측정정확도를 평가했다. 평가된 OMM 시스템의 측정정확도에 영향을 미치는 요인들을 정량적으로 분석하기 위해 계통적인 방법으로 오차 원인을 해석했으며, OMM의 측정정밀도를 향상시킬 수 있는 방안에 대하여 고찰하였다. 특히 OMM 시스템의 국부적인 특성보다는 공작기계의 구동계, 이송계, 구조계의 특성을 OMM 측정성능에 반영하기 위해 대형 공작물을 시편으로 사용했다.

2. 시스템 구성 및 측정원리

CNC 공작기계에서 OMM을 구성하기 위해 사용이 가능한 센서로는 3점 볼(Ball)의 점접신호를 이용한 터치 트리거 프로브(Touch Trigger Probe), 스타일러스(Stylus)가 평행 이동기구를 갖는 스캐닝 프로브(Scanning Probe) 및 비접촉 방법인 레이저 변위계 등이 있

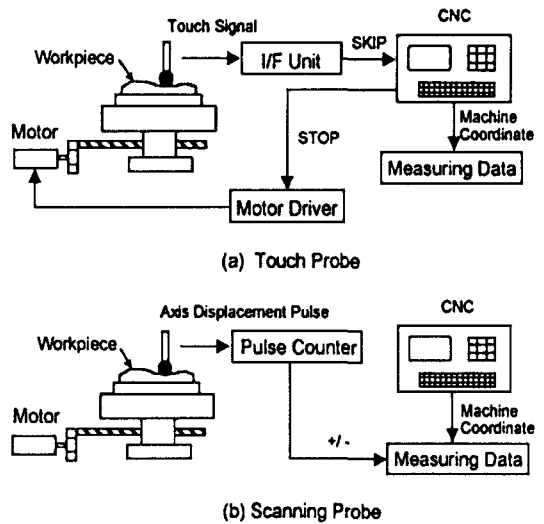


Fig. 2 Measuring principles of probes

다. Fig. 2에 터치 프로브와 스캐닝 프로브를 이용한 측정원리를 나타내었다.

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 I/F 유닛을 통해 CNC에서 Skip 신호를 입력받은 뒤 그때의 기계좌표값을 측정값으로 하기 때문에 프로브의 이동속도에 따라 프리 트래블 에러(Pre-travel Error)를 가지므로 이에 대한 보상이 필요하며 측정속도가 비교적 느린 단점을 갖고 있다.^(4,5,6,7)

스캐닝 프로브는 스타일러스가 3축 평행 이동식 탄성기구를 가지기 때문에 탄성기구의 스케일 이동에 따른 펄스(Pulse) 출력을 연산하는 것에 의해 간단히 대상물의 형상측정이 가능하며 프로브가 가공물에 접촉될 때 측압(375g/mm)이 낮아 가공물을 손상시키지 않는다. 또한 높은 분해능을 가지면서도 응답성이 좋아 고속측정이 가능하다.⁽⁸⁾

이에 비해 레이저 변위계는 광축 방향으로만 측정이 가능하다는 단점을 가진다.

이상과 같은 센서의 특징을 고려하여 본 연구에서는 스캐닝 프로브(Renishaw SP2-1)를 이용한 OMM 시스템을 구성하였다.

Fig. 3에 구성된 OMM 시스템⁽²⁾을 나타냈으며 Table 1에 주요 장비의 사양을 나타내었다. 그림에 보이듯이

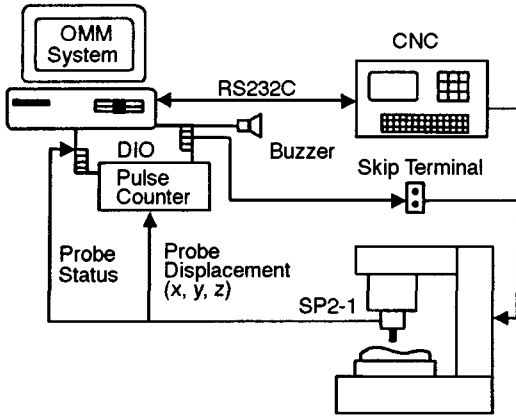


Fig. 3 Configuration of OMM system

Table 1 Specifications of experimental apparatus

Milling Machine	<ul style="list-style-type: none"> Model : UB75 (URAWA, JAPAN) 항온조건 : 22℃ ± 1.5
Scanning Probe	<ul style="list-style-type: none"> 형식 : 3차원 변위 검출센서 Model : SP2-1(Renishaw, UK) 변위기구 : 3축 탄성변위기구 Probe 자세 : 수직, 수평 최대변위량 : ± 4.5mm 분해능 : 0.001mm 촉압 : 3.5 N/mm 사용온도 : +10℃ ~ +40℃
CMM	<ul style="list-style-type: none"> Model : UMM850 (ZEISS) Probe Dia: 3mm U1 = 2.5 + L/300mm (μm) U3 = 2.8 + L/250mm (μm)

OMM 운용 S/W가 탑재된 PC는 RS232C, Digital I/O 및 Pulse Counter 등 3가지 장치에 의해 외부장치와 연결되어 있다. RS232C는 CNC와 연결되어 PC로부터 CNC로 측정용 NC 프로그램을 송신하고 CNC로부터 PC로 기계의 위치값을 수신하는 기능을 한다. PC에 설치된 Pulse Counter는 측정 프로브의 3축 변위값의 변화에 따라 출력되는 펄스값을 누산하기 위해 사용된다. DI/O는 프로브의 상태감시 및 CNC의 Skip 기능 입력부와 연결되어 기계제어를 위한 신호로 사용된다. 이 기능은 공구와 프로브의 얼라인먼트를 위해 원의 중심을 측정하기 위해 사용된다.

OMM 시스템에서 측정 프로그램을 생성하기 위한 정보 흐름을 Fig. 4에 나타내었다. 가공용 NC 프로그램을 만들기 위해서는 CAD 모델을 이용하여 가공 계획을 작

성하고 CAM을 이용한다. 본 시스템에서는 OMM 시스템 구성을 위해 추가적으로 CAD 모델에서 측정 형상에 대한 측정용 기준 데이터를 추출하여 측정 계획을 작성하고, 이를 이용해 측정용 NC 프로그램을 작성하는 알고리즘을 개발했다.

측정 프로그램 생성은 CAD 모델로부터 얻은 측정 기준 데이터를 이용해 측정할 위치의 X, Y 좌표에 대한 Z 좌표값을 입력하여 측정용 NC 프로그램을 작성한다. 이 프로그램은 정의된 X, Y 위치로 축을 이동시킨 후, Z축을 가공면까지 이동시키는 역할을 한다. NC 프로그램 Custom Macro를 사용했다.⁹⁾ OMM에서 생성된 프로그램은 RS232C를 통해 NC로 전송한다. 기계측에서는 CAD에서 정의된 특정 위치점 또는 평면의 기준높이를 이용해 기계의 작업좌표를 변환하고 이를 기준으로 측정하게 된다. 이때 S/W가 탑재된 PC측의 Up/Down Counter는 측정물의 예상 최대 Over Cut 만큼 프로브를 압축된 위치를 Zero Setting 한다. 여기까지는 수동 방법에 의해 수행한다. 이제부터는 NC 프로그램에 의해 순서대로 측정이 수행한다. 측정원리는 CAM에서 정의된 모델대로 가공이 이루어졌다면 측정 프로그램 순서에 의해 측정위치까지 이동했을 때 프로브의 Z축 변위는 0이 되는 원리를 이용한다. 따라서 측정할 위치의 가공이 Under Cut이 되었다면 프로브의 변위는 양의 값을 가지게 되고 Over Cut이 되었다면 음의 값을 가지게 된다. 이러한 원리를 이용해 작성된 측정 NC 프로그램에 의해 기계측에서는 지정된 X, Y점으로 이동한 후 Z축을 지정된

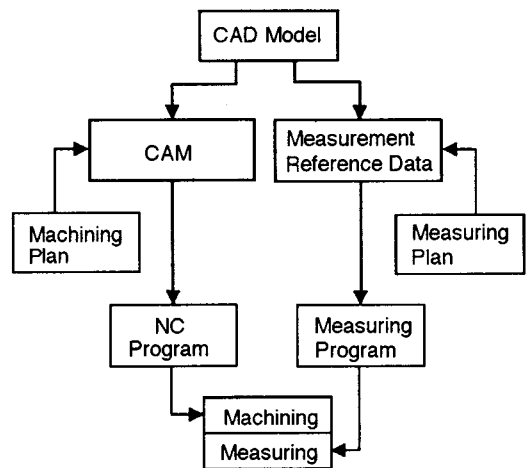


Fig. 4 Machining and measuring program generation

위치까지 이동한 후, 그때의 각축 좌표를 RS232C를 통해 PC로 송신한다. PC에서는 기계의 좌표값을 수신받은 후, 프로브의 3축 변위 변화를 Pulse Counter의 Pulse를 1 μm 단위로 누산한다. 누산결과를 이용해 연산 및 보정과정을 통해 측정 위치에서의 기하학적 가공정밀도를 판단하고 이를 화면에 Display하고 DB에 저장한다.

3. 측정 실험

3.1 기본 특성 실험

구성된 OMM 시스템의 기본 정밀도 특성을 파악하기 위한 실험을 수행했다. 실험은 항온함습이 유지되는 환경 ($22 \pm 1.5^\circ\text{C}$)에서 운용되는 3축 밀링 머신(URAWA, Japan)을 이용했다. 실험방법은 OMM이 설치된 공작기계의 테이블 X, Y축을 각각 3등분하여 9개 영역으로 나누어 각각의 영역에 정확도 및 정밀도가 보증된 Step Gauge를 설치하여 위치정밀도와 반복정밀도를 측정했다. 측정된 데이터는 모든 경우 $-2 \sim +2 \mu\text{m}$ 범위내에서 정규분포를 하는 특성이 있었다. 각각 10회씩 측정하여 분석한 결과 위치정밀도의 경우 평균이 $-0.34 \sim +0.94 \mu\text{m}$, 표준편차가 $0.55 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 로 나타났으며, 반복정밀도의 경우에는 평균이 $-0.21 \sim +0.35 \mu\text{m}$, 표준편차가 $0.43 \sim 0.56 \mu\text{m}$ 로 나타났다.

3.2 비교 평가 실험

개발된 OMM 시스템의 측정정확도 평가를 위해 사용된 시편은 OMM 시스템의 국부적인 특성보다는 공작기계의 구조계, 구동계, 이송계 및 절삭계의 특성을 OMM 측정 성능에 반영하기 위해 대형 금형(TV Shadow Mask 21" 금형, 금형크기 $403.6\text{mm} \times 306.2\text{mm} \times 78\text{mm}$, 팔렛크기 $600\text{mm} \times 500\text{mm} \times 28\text{mm}$)을 이용했다. 금형을 가공하기 위한 시편은 각각 팔렛에 볼트로 단단히 고정하고 이를 다시 공작기계의 테이블에 고정한 상태로 가공과 측정을 하게 된다.

측정정확도를 평가하기 위해서는 대상 금형을 가공 후 OMM 시스템에서 측정하고 이를 공작기계의 테이블에서 팔렛 상태로 분리하여 CMM에서 다시 측정하고 2개의 측정기에서 얻어진 데이터를 OMM 시스템의 측정정확도 측면에서 고찰했다. 사용된 CMM(UMM850, ZEISS)의 프로브는 직경이 3mm인 볼을 사용했으며 $U_1 = 2.5 + L/300\text{mm}$ 그리고 $U_3 = 2.8 + L/250\text{mm}$ 특성을 갖는다.

측정점은 CAD에서 지정하는 방식으로 OMM 모두 총

Table 2 Measurement error of OMM system comparing with CMM(μm)

X	-193	-180	-160	-120	-80	-40	0	40	80	120	160	180	193	
Y	-147	-3	-4	-2	-2	-2	0	1	1	2	3	3	2	3
	140	1	-3	-2	-4	-2	0	0	-1	3	1	6	3	2
	120	-3	-3	-3	-4	-2	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0
	100	-3	-4	-4	-2	1	-1	-1	1	1	1	4	2	2
	80	-3	1	-5	-3	-3	-5	-4	-4	-3	-1	3	2	1
	40	2	-3	-4	-4	-3	8	0	-2	-1	0	1	3	2
	0	-2	6	1	1	-3	-2	1	-1	-2	-1	-2	-2	-1
	-40	-6	-2	-1	-1	-6	4	-5	6	-4	-3	-3	-1	-2
	-80	-3	-5	-5	-3	-3	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-3	-2
	-100	-5	-5	0	-5	-2	-5	-5	-3	-3	-2	-2	-1	-3
	-120	-4	-2	-6	-6	-4	-5	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-6
	-140	0	-2	-5	-5	-5	-2	-3	-4	-3	-5	-3	-2	-2
	-147	-7	-8	-5	-5	-7	-6	-6	-7	-6	-4	-5	-5	-4

Table 3 Error analysis of OMM system comparing with CMM

Measuring Data Type	CMM - OMM(Unclamp)
Average (μm)	-0.20
St. Dev. ($\pm \sigma \mu\text{m}$)	2.91
Max. Error ($\pm 3 \sigma \mu\text{m}$)	8.73

169개의 점에서 측정되었으며, CMM 측정치에 대한 OMM 측정치의 비교오차를 Table 2에 나타내었고, Table 3에 측정오차 분석결과를 보였다. 측정결과를 살펴 보면 총 169개의 측정점 중에서 CMM에 대한 비교 오차값이 $\pm 5 \mu\text{m}$ 이상의 차이를 보이는 점의 개수가 16개로 나타났다. 표에서 보이듯이 3σ 기준으로 최대오차는 $8.73 \mu\text{m}$ 로 나타나고 있다. 여기서 3σ 를 기준으로 최대오차를 평가한 이유는 측정치에 대한 오차가 정규분포를 하기 때문이다. 본 연구에서는 OMM의 성능평가 기준을 CMM 측정치를 기준으로 했기 때문에 CMM이 갖는 오차는 Table 3의 결과에 포함되어 나타나고 있다고 할 수 있다.

4. 측정오차 원인분석

4.1 측정오차에 영향을 미치는 인자들

일반적으로 CMM에서의 측정은 팔렛이 언클램프된 상태에서 수행되며, 측정시 가공열이나 기계오차, 가공물의 탄성회복 등 여러 가지 영향이 제거되고 제품으로서 사용 가능한 상태에서 측정되는 것이 일반적이다. 그러나

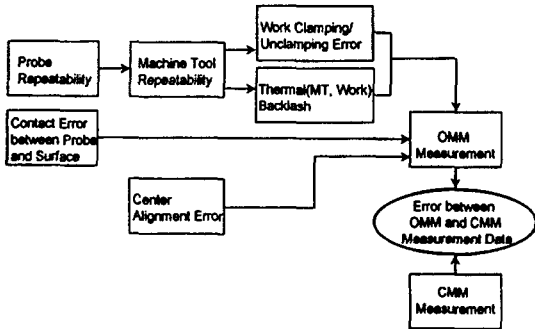


Fig. 5 Error sources of measuring results

OMM에서는 이러한 요인으로 인한 오차가 측정값에 포함되는 단점을 가진다.

CMM을 이용한 機外측정 공정을 OMM으로 대체 가능성을 검토하고 OMM 시스템의 측정정밀도를 향상시킬 수 있는 방안을 구하기 위해, CMM을 기준으로 OMM 측정치 오차를 분석했다. 이 오차에 영향을 미치는 인자들로는 프로브가 갖는 프로브 자체의 반복오차, 프로브가 공작물에 접촉할 때 접촉각도에 따른 반경오차, 프로브의 설치에 따른 오차, 공작기계의 반복정밀도(repeatability), 공작물의 설치 및 고정방법, 가공면의 표면거칠기, 가공시 발생하는 공작기계와 공작물의 열변형, 기타 측정 환경의 차이 등 여러 가지가 있다. 이러한 오차 원인을 분석하기 위해 21" Shadow Mask를 대상으로 했으며 사용된 시편은 Z 방향 최대 경사각은 15°이다. Fig. 5는 이들 항목을 계통적으로 나타낸 것이며, 이들 각각의 영향을 실험적으로 분석하였다.

4.2 프로브의 반복정밀도

본 연구에서 사용된 스캐닝 프로브는 X, Y, Z, 3축의 분해능은 1μm이고, 선형성은 측정범위 2mm에서 ±2μm이다. 그러나 본 연구에서 사용된 프로브의 Z축 측정범위는 Over Cut을 기준으로 50μm 내의 범위에서 사용되었다. 프로브의 반복정밀도를 측정하기 위해 공작기계의 X, Y축을 고정 시킨 상태에서 Z축을 50μm 범위 내에서 100회 반복 운동 시험 결과 최대 ±1μm을 벗어나지 않았다.

4.3 프로브와 공작물의 접촉에 따른 오차

접촉식 프로브를 이용할 경우 Fig. 6에 나타냈듯이 일정한 직경을 갖는 볼(Ball)이 부착된 스타일러스를 이용하여 측정을 한다. 시험구에서 측정하고자 하는 점은 P인

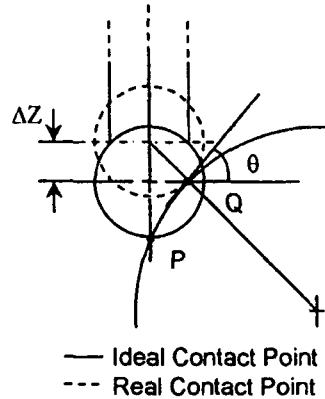


Fig. 6 Relationship between the probe radius and contact angle of ball

데도 불구하고 볼의 반경 때문에 Q점에 접촉한다. 편의상 Z축 방향만 생각할 때 이로 인해 발생하는 ΔZ는 접촉점의 각도 θ를 알면 구해진다. 측정 스타일러스의 반경 크기 R로 인한 측정오차 ΔZ는 다음과 같다.

$$\Delta Z = R \frac{1 - \cos\theta}{\cos\theta} \quad (1)$$

본 연구에서는 반경 25μm인 초경합금으로 제작한 축침형 접촉식 프로브를 사용했다. 대상으로 하고 있는 금형 곡면의 접촉점에서의 최대 경사각이 15°이므로 이로 인한 Z 방향의 최대 측정오차는 ±0.88μm으로 추정된다. 측정시 프로브의 볼 크기에 따른 접촉오차를 제거하거나 보정을 통해 줄이기 위한 여러 가지 방법,^(10,11,12) 표면거칠기에 따른 프로브 접촉오차 해석에 대한 연구^(13,14)가 여러 가지 있으나, 본 연구에서는 반경오차를 줄이기 위한 별도의 데이터 처리는 하지 않았다.

4.4 프로브 설치에 따른 오차

OMM 시스템은 가공이 완료된 후 공구를 측정 프로브로 교체하여 즉시 가공형상을 측정하는 시스템이다. 따라서 측정을 위해 공구와 교체된 프로브의 중심은 금형을 가공한 공구의 중심과 일치하는 것이 이상적이다. 만일 어느 방향으로 중심이 편심되어 있으면 형상의 목표위치와 실제 측정위치가 차이가 나게 되어 정확한 측정이 되지 않는다. 본 연구에서는 공구 중심에 대한 측정 프로브의 편심을 측정해 이를 보상하기 위한 방법으로 중심좌표를 알고 있는 기준원을 사용했다. 이에 대한 원리를 Fig. 7에 나타내었다. 공작기계상에서 미리 알고 있는 기준원

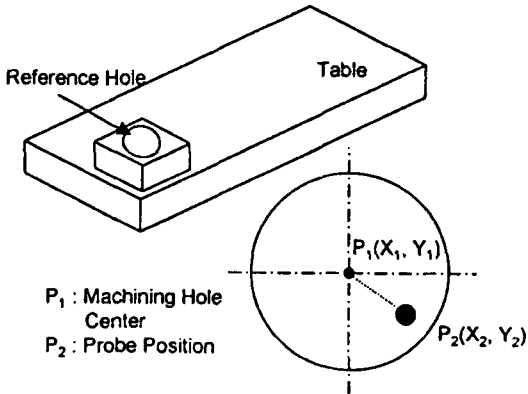


Fig. 7 Center alignment method between cutting tool and measuring probe ball

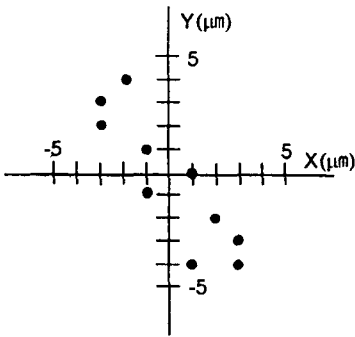


Fig. 8 Repeatability for center shift alignment

의 중심이 P₁이고, 측정을 위해 설치된 프로브의 중심이 P₂라고 할 때 P₂의 좌표를 측정하여 이 값을 P₁으로 좌표 변환을 해야한다. 프로브를 이용해 P₂ 좌표의 측정은 CNC의 스킵 신호를 이용해 커스텀 매크로 프로그램을 이용해 자동으로 측정한다. 측정된 P₂ 좌표는 NC 코드 G92를 이용해 P₂를 미리 알고 있는 P₁으로 좌표변환을 하게 된다. 이 과정을 거치면 가공중심과 측정중심이 일치하게 된다

제안된 방법의 오차를 측정하기 위해 임의 직경원의 중심을 10회 반복 측정한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 보이듯이 공구의 중심과 측정 프로브의 중심은 최대 4μm의 오차가 발생했으며 이를 최대 경사각 15°에 적용하면 이로 인한 Z 방향의 최대 측정오차는 ±1.07μm이 된다.

4.5 공작기계의 반복정밀도

중심이 얼라인먼트된 프로브가 설치된 OMM 시스템의

Table 4 Repeatability of OMM system

Measuring Data Type	OMM Repeatability
Average (μm)	0.11
St. Dev. (±σ μm)	0.72
Max. Error (±3σ μm)	2.16

기계적 반복정밀도 측정은 169점을 4회 반복 측정했으며 매번 환경을 초기화했다. 측정결과 동일 측정점에 대한 반복정밀도의 차이는 최대 ±2μm을 벗어나지는 않았다. 측정점 169점 중 -2, -1, 0, 1, 2μm 차이가 각각 2, 26, 93, 45, 3점으로 정규분포 형태를 갖는다. 이를 3σ 기준으로 최대오차를 추정하면 ±2.16μm이 된다. 이에 대한 분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 이러한 반복정밀도는 공작기계의 정밀도와 측정 프로브의 정밀도가 포함되어 나타난 결과로 판단된다.

4.6 공작물 설치 환경에 따른 오차

OMM과 CMM이 열평형이 이루어진 상태에서 비교 측정이 이루어진다 하더라도 OMM의 경우 공작물이 테이블에 구속된 상태에서 측정이 이루어지지만, CMM의 경우 자유상태에서 측정이 이루어진다. 금형을 가공하기 위해서는 시편을 팔렛에 고정하고 다시 팔렛을 공작기계의 테이블에 고정한다. 시편과 팔렛은 전면에 걸쳐 50mm 간격으로 볼트 체결을 했으며 팔렛은 4개의 클램프에 의해 테이블에 고정된다. 공작기계의 테이블면과 시편을 고정 한 팔렛의 접촉면이 이상적인 평면을 이루게 되면 팔렛을 테이블에 고정할 때 발생하는 변형은 없다. 그러나 넓은 팔렛(600mm×500mm×28mm)을 테이블에 이상적인 면접촉을 시키는 것은 대단히 어렵다. 완벽한 면접촉을 이루지 못한 부분은 클램프시에 탄성변형을 하게 된다. 이러한 탄성변형은 언클램프시 탄성회복을 하게 되고 이것은 CMM 측정치에 반영되어 OMM의 오차가 된다. 이를 확인하기 위해 가공물이 공작기계의 테이블에 클램프된 상태에서 가공이 이루어지고 난 후 CMM 측정을 위해 언클램프될 때 시편의 탄성회복에 의해 발생하는 오차를 측정했다.

우선 팔렛의 변화를 조사했다. Fig. 9는 가공 후 팔렛이 테이블에 클램프된 상태에서 언클램프될 때 팔렛 코너부의 4개 측정점에서의 탄성회복에 따른 높이 변화를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 측정방법은 공작기계의 주축

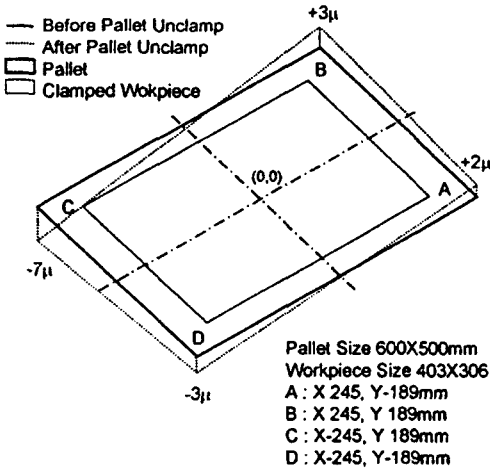


Fig. 9 Elastic displacement of pallet after unclamping

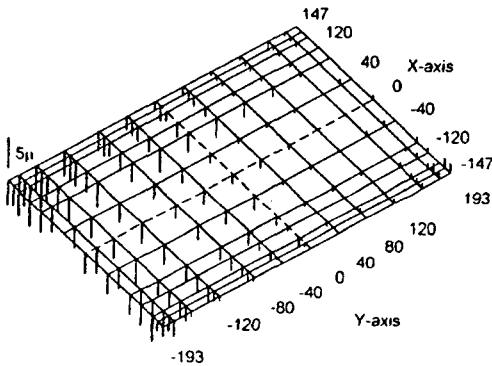


Fig. 10 3-dimensional viewing of relative error after unclamping

에 다이얼 게이지를 설치하고 팔렛의 언클램프 전후 각각 A, B, C, D 4점을 측정했다. 그림에서 보이듯이 팔렛은 탄성회복된 것을 알 수 있다.

다음은 팔렛의 탄성 회복량이 가공물에 미치는 영향을 조사했다. 팔렛의 탄성회복에 따른 공작물의 변형량을 측정하기 위해 OMM 측정을 팔렛이 테이블에 클램프된 상태와 언클램프된 상태에 대해 각각 측정했다. Fig. 10은 OMM 시스템에서 팔렛이 클램프 상태에서 언클램프될 때 가공물의 형상변화를 3차원적으로 표시한 것이다. 이에 대한 오차 크기를 Table 5에 나타내었다. 이는 팔렛의 변위 변화와 유사한 패턴을 갖는 것을 알 수 있다. 팔렛이 클램프된 상태에서 언클램프될 때 팔렛의 탄성회복에 의해 발생하는 오차에 대한 분석한 결과 최대오차는 3σ

Table 5 Relative error of measurement with pallet clamping to that with unclamping

X \ Y	-193	-180	-160	-120	-80	-40	0	40	80	120	160	180	193
147	-5	-6	-5	-5	-4	-3	-2	-2	-1	-1	-2	-1	0
140	-4	-5	-6	-5	-4	-3	-3	-2	-1	-1	-1	-1	0
120	-5	-5	-5	-5	-3	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0
100	-5	-4	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-1	-1	-1	0	0
80	-4	-5	-5	-5	-4	-5	-4	-4	-3	-2	-1	0	0
40	-1	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-1	-1	-1	0	+1	0
0	-4	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	0	0	+1
-40	-4	-4	-5	-4	-3	-3	-3	-1	-1	0	+1	+1	0
-80	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-1	-1	-1	0	-1	+1
-100	-4	-4	-3	-3	-3	-2	-1	0	0	0	+1	+1	+1
-120	-5	-4	-3	-3	-2	-2	-2	-1	0	0	+1	+1	0
-140	-2	-3	-3	-2	-2	0	-1	0	+1	0	+1	+2	+2
-147	-2	-3	-1	-1	-1	0	0	0	0	+1	+1	+1	+2

Table 6 Relative error analysis depending on OMM setup states

Measuring Data Type	Unclamp - Clamp
Average (µm)	-1.95
St. Dev. (± σ µm)	1.96
Max. Error (± 3 σ µm)	5.88

준으로 ±5.88µm이 된다. 이러한 분석결과를 Table 6에 나타내었다.

이상의 결과들을 비교 분석해 보면 OMM의 측정오차에는 팔렛의 탄성회복에 따른 영향이 다른 원인에 비해 큰 것으로 판단된다. 그러나 이 오차의 경우는 시편과 팔렛의 체결력, 팔렛과 테이블의 체결력 그리고 팔렛 및 테이블면의 평면도 등에 오차가 영향을 받기 때문에 가장 변화가 클 것으로 생각된다.

5. 고 찰

CMM 공정을 OMM 공정으로의 대체 가능성을 연구하기 위해 OMM 측정시 발생하는 오차들을 실험적으로 분석하고 정량화했다. 이러한 측정오차를 해석시편을 대상으로 정량적으로 나타내면 Fig. 11과 같다. 그림에서 보이듯이 프로브의 자체오차, 프로브와 공작물의 접촉에 따른 오차, 프로브의 설치에 따른 오차, 공작기계의 반복정밀도 그리고 공작물의 설치환경에 따른 오차의 비율은 CMM을 기준으로한 전체 측정오차 3σ=8.73µm을 기준으로 할 때 각각 12%, 10%, 12.6%, 25.5%, 69.5%

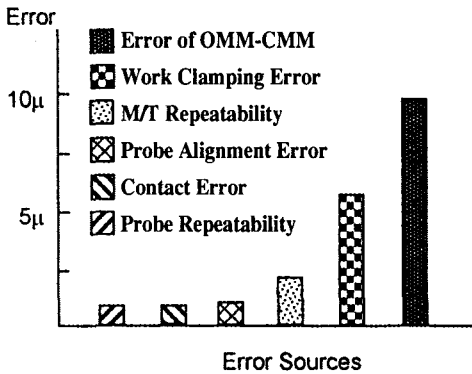


Fig. 11 Quantitative analysis of error source of measuring data

수준이 된다. 여기서 팔렛 설치에 따른 오차 및 공작기계의 반복정밀도는 측정치가 정규분포를 하기 때문에 3σ 를 기준으로 최대오차를 정의했다. 그러나 기준으로 한 CMM 측정치의 경우에도 CMM에서의 시편 얼라인먼트, OMM과의 열팽형, 가공면의 상태 등에 따른 오차가 포함되어 있음을 유의해야 할 필요가 있다.

오차 원인 중 가장 비중이 높은 공작물의 설치 환경에 따른 측정오차의 경우, 공작물이 부착된 팔렛을 테이블에 클램프할 때 발생하는 체결력과, 가공 후 언클램프할 때 발생하는 탄성회복이 주된 오차 원인이 되므로 이 항목에 대한 연구를 통해 OMM 시스템의 측정오차를 줄일 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 이러한 팔렛으로부터 발생하는 오차는 공작물의 크기가 커지면 그 영향이 더욱 커지게 된다. 그 방안으로서 팔렛의 설계시 높은 강성을 가지도록 설계하고, 팔렛과 가공물, 팔렛과 공작기계 테이블 사이의 접촉부의 최적설계, 적합한 형상공차 설정 등이 필요하고, 설치시 각 요소 간의 체결력을 일정하게 유지하기 위한 대책이 필요하다. 이러한 대책은 특히 대형 가공물일 경우 더욱 중요한 사항들이라고 할 수 있다. 또한 OMM의 장점인 수정가공을 위해서는 팔렛의 클램프 상태에서 측정해야 하므로 팔렛의 탄성회복에 따른 변위를 미리 측정해 두어 이 값을 가공물 측정치에 보정해 주는 것도 좋은 방법이 될 수 있다.

위에서 논의한 측정오차의 발생원인 이외에도 공작기계의 열변형, 가공물의 열변형, 공작기계의 미끄럼 안내면 등에서 발생하는 미소한 스틱 슬립(Stick Slip), 운동 전달장치에서 발생하는 백래시(Backlash) 등으로 인한 OMM의 측정오차는 본 연구에서는 고려하지 않았으나

추후 계속 연구되어야 할 것으로 생각된다.

6. 결 론

CMM 공정을 OMM 공정으로의 대체 가능성을 확인하기 위해, 개발된 시스템을 CMM을 기준으로 OMM 시스템의 측정오차를 평가하고 이에 영향을 미치는 인자들로 예측되는 요소들을 원인별로 실험결과를 통해 해석하였으며, 이러한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 개발된 OMM 시스템의 성능에 영향을 미칠 것으로 판단되는 측정오차를 원인별로 해석한 결과, 가공물을 공작기계의 테이블에 고정하고 해체할 때 발생하는 시편의 단성변형 및 단성회복이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2) 팔렛 설계시에는 테이블과 팔렛 접촉부의 최적설계와 적합한 형상공차를 설정하고, 강성이 큰 구조로 설계하며, 고정할 때에는 체결력을 일정하게 유지하므로써 OMM의 측정정도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- Owen, J. V., "CMMs on the Shop Floor," Manufacturing Engineering, April, pp. 66-70, 1991.
- 김선호, 김인훈, "Scanning Probe를 이용한 OMM(On the Machine Measuring) 시스템 개발 및 평가," 한국정밀공학회지, 제13권, 제10호, pp. 71-77, 1996.
- Keizo, U., "Die & Mold 3-Dimensional Measuring on the Machine," Conf. on Die and Mold Technology, pp.208~209, 1994. (In Japanese)
- 김선호, "무인 선삭 셀에서의 측정/검사 시스템," 대한산업공학회지, 제5권, 제1호, pp.15-23, 1992.
- John, J., "Touch Probe Calibration and Measurement on CNC Machining Center," SME Technical Paper IQ86-908, 1986.
- Kreuci, J. V., "CMM Measurement Enhancement Using Probe Compensation Algorithms" SME Technical Paper MS90-09, 1990.
- Taylor, A., "Performance Characteristics of

- Touch Trigger Probes", SME Technical Paper MS90-266, 1990.
8. Renishaw plc, SP2-1 Scanning Probe Users Guide H-2000-5115-01-B, 1994.
 9. FANUC LTD, Programming Manual(Macro Compiler/ Macro Executer) B-61393E, 1989.
 10. Duffie, N., Boillinger, J. and Kroneberg, M., "CAD Directed Inspection and Error Analysis Using Surface Patch Database," Annals of the CIRP, Vol. 33, pp. 347-350, 1984.
 11. Aoyama, H., "A New Method for Detecting the Contact Point between a Touch Probe and Surface," Annals of the CIRP, Vol. 38, pp. 517-520, 1989.
 12. Mestre, M. and Abou-Kandil, H., "Measuring the Error of Form of Industrial Surface : Prediction and Optimization," Precision Engineering, Vol. 16, No. 4, pp. 268-275, 1994.
 13. Syria, N. A. and Trumpold, B. H., "The Influence of Surface Roughness in Dependence of the Probe Ball Radius with Measuring the Actual Size," Annals of the CIRP, Vol. 398, pp. 577-580, 1990.
 14. Green, P. A., "Error Modeling of Reverse Engineered Free Form Surfaces," Transactions of NAMRI/SME Vol. 12, pp. 212-219, 1994.