

OMM 시스템의 측정오차 원인분석 및 대책

The Error Source Analysis of Measuring Data of OMM System

이상준(대전전문대 기계자동차계열), 김선호(한국기계연구원 자동화연구부), 김옥현(충북대 기계공학부)

ABSTRACT

This paper describes the analysis of measuring error of on the machine measuring(OMM) system which can directly measure the three dimensional machined free surface dimension using scanning probe on milling machine. 21 inch TV shadow mask mould was measured using PTP(point to point) measurement algorithm at pallet clamped and unclamped state on OMM system, and using coordinate measuring machine(CMM) one after another. The OMM system was evaluated probe error, stylus contact error, center shift error, repeatability and so on. Consequently, the conclusion derived that elastic displacement of pallet had effect on measuring error mainly, and pallet design and setup method would be important.

Key Words : On the Machine Measuring (OMM) System(기상측정(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 같은 다품종 소량 생산시스템의 경우에는 이와 같은 방식은 비효율적일 수가 있다.⁽¹⁾ 따라서 가공이 끝난 제품을 검사하기 위하여 대부분의 금형 제조라인에서는 3차원 측정기(Coordinate Measuring Machine; CMM)를 설치하여 운영하고 있으나, 고비용이며 관리가 어렵고 설치 및 측정 시간이 길어져 비경제적이며, 또한 측정을 위한 가공물이동 시간은 생산성 저하 요인이 되고 있다. 특히, 3차원 측정기의 한정된 크기 때문에 대형 가공물이라든지, 공정 특성상 가공물의 분리가 어려운 경우에는 마땅한 측정 방법이 없는 실정이다.

이러한 문제들을 해결하고 생산시스템의 발전 추세에 부응하기 위해, CNC 공작기계에서 제품의 가공이 완료된 후, 공구를 측정용 프로브(Probe)로 교체하여 기상측정(機上測定 : On the Machine Measuring ; OMM)이 가능한 시스템을 개발하였으며⁽²⁾, 그 결과 검사공정이 단순해지고 측정 후의 수정가공을 효율적으로 수행할 수 있게 되었다. 최근의 공작기계의 정밀도 향상, 측정센서의 고정도화는 OMM 시스템의 발전을 가속하고 있으며,⁽³⁾ OMM 시스템의 적용에 따른 생산시스템의 변화를 Fig. 1에 나타내었다.

그러나 OMM 시스템은 작업환경, 프로브와 공작기계의 각종 오차, 프로브의 설치오차, 공작기계와 가공물의 열변형, 치공구에 기인한 공작물 변형 등이 OMM 측정치에 반영되어 CMM 측정데이터를 기준으로 비교할 때 OMM 시스템의 측정오차의 원인이 되고 있다.

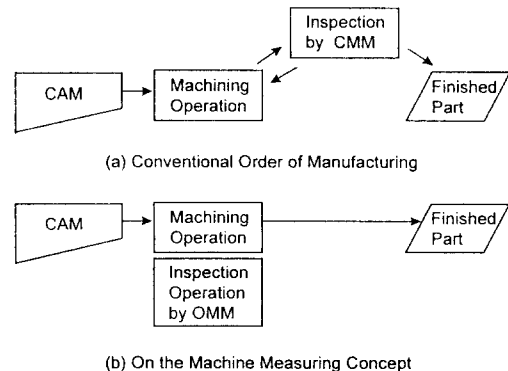
본 논문에서는 OMM 시스템의 측정오차에 영향을 미치는 요인들을 정량적으로 분석하고, 시스템 구성시 이러

한 요인을 반영하여 OMM의 성능을 향상시킬 수 있는 대책에 대하여 연구했다.

2. 시스템 구성

Fig. 2에 구성된 OMM 시스템을 나타냈으며 Table 1에 주요 장비의 사양을 나타내었다. OMM 운용 프로그램이 설치된 PC와 CNC 공작기계는 데이터 송수신을 위해서 RS-232C로, 측정 프로브는 3채널의 카운터와, 그리고 자동측정을 위한 CNC Skip 입력은 PC에 설치된 DIO Board와 연결되어 있다.

형상 측정 프로브로는 고속 고정밀 측정이 가능한 접촉식 스캐닝 프로브(Scanning Probe)를 사용했으며, 이를 운용하기 위해서 3차원 형상을 CAD 설계 데이터를 기준으로 측정이 가능한 PTP측정(Point to Point Measurement, 점대점 측정)이 가능한 알고리즘을 개발



(b) On the Machine Measuring Concept

Fig 1 Concept of OMM system

하였다. 이것은 측정을 위하여 측정정보를 설계 데이터에서 받아서 각각의 X, Y좌표에 대한 Z좌표값을 입력하여 측정 프로그램을 생성한 후, NC로 전송하고 NC에서는 기준점을 설정한 후 자동측정을 행한다.

측정방법은 CMM에서의 방법과 유사하며 커스텀 매크로(Custom Macro) 프로그램을 작성해서 사용했다. 측정용 매크로 프로그램은 PC에서 생성하는 측정좌표 정보를 가지는 1개의 주프로그램과 측정할 X위치, 측정할 Y위치 그리고 프로브가 측정을 위해 접근할 Z위치 및 측정좌표 전송용 등 4개의 서브프로그램으로 구성되어 유연성을 부여했다.

NC에서는 매크로 프로그램에 의해 각 1점을 측정할 때마다 측정좌표값을 PC로 보내면, PC에서는 좌표를 수신 받은 후 그 때의 프로브 변위값을 읽어 이들을 연산 및 보정하여 최종 측정치를 구한다. CNC 주축에 설치된 스캐닝 프로브에서 출력되는 신호는 1주기가 4 μ m이기 때문에 이를 1 μ m으로 체배시키기 위해 특별히 제작된 4체배 펄스 카운터를 사용하여 필요한 주기로 펄스값을 업다운(Up Down) 방식으로 누산했다.

3. 측정 실험

측정실험은 21" TV Shadow Mask 금형(403.6mm×306.2mm×78mm)을 Pallet(600mm×500mm×20mm)에 고정하고 이것을 밀링머신에 설치하여 금형을 가공한 다음 그 가공형상을 OMM 시스템을 이용하여 테이블에 Pallet이 Clamp된 상태와 Pallet이 Unclamp된 상태에서 각각 측정된 후, 이를 CMM으로 옮겨 동일한 방법으로 측정된 측정치를 비교하였다.

실험에 사용된 CMM은 Table 1에 나타난 바와 같이 U1, U3 오차특성을 가진다. 그러나 비교할 만한 다른 대안이 없기 때문에 이를 기준으로 삼았다. 측정점은 CMM과 OMM 모두 총 169개의 점에서 측정되었으며, 실험결과 CMM측정치에 대한 OMM측정치(Pallet Unclamp 상태)의 비교오차를 Table 2에 나타내었다. Table 3은 측정오차 분석결과이다. 이 측정결과를 살펴

Table 1 Specification of experimental apparatus

Milling Machine	<ul style="list-style-type: none"> Model : UB75 (URAWA, JAPAN) 항온조건 : 22\pm1.5
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 : \pm4.5mm 분해능 : 0.001mm 축압 : 3.5 N/mm 사용온도 : +10C ~ +40C
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)

보면 총 169개의 측정점 중에서 CMM에 대한 비교오차 값이 $\pm 5\mu$ m 이상의 차이를 보이는 점의 개수가 16개이다.

4. 측정오차 원인분석

4.1 측정오차에 영향을 미치는 인자들

CMM을 기준으로 OMM의 상대오차(Relative Error)를 분석해 보면, 이 오차에 영향을 미치는 인자들로는 프로브 자체의 오차, 프로브의 반경오차, 프로브의 설치에 따른 오차, 공작기계의 반복정밀도(repeatability), 가공물의 설치 및 고정방법, 가공면의 표면거칠기, 가공시 발생하는 공작기계와 공작물의 열변형, 기타 측정환경의 차이 등 여러 가지가 있다

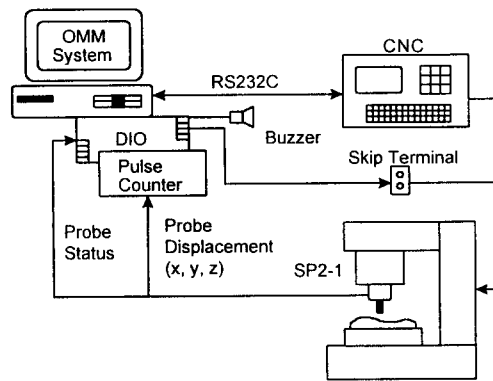


Fig 2 Configuration of OMM system

Table 2 Relative error of OMM(Pallet Unclamp) system comparing with CMM(μ m)

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

Table 3 Relative error analysis of OMM system

Measuring Data Type	CMM - OMM(Unclamp)
Average ($\pm \mu$ m)	-0.23
St. Dev. ($\pm \sigma \mu$ m)	3.17
Max. Error ($\pm 3 \sigma \mu$ m)	9.51

Fig 3은 이들 항목을 계통적으로 예측하여 나타낸 것이며 본 연구에서는 이들 각각의 영향을 실험적으로 분석하였다.

4.2 프로브 자체의 오차

CNC 공작기계에서 기상측정용으로 사용이 가능한 센서로는 3점 불의 접촉신호를 이용한 터치 트리거 프로브(Touch Trigger Probe), 스타일러스(Stylus)가 평행이동 기구를 갖는 스캐닝 프로브 그리고 비접촉식인 레이저 변위계 등이 있다. Fig 4는 터치 프로브와 스캐닝 프로브를 이용한 측정원리를 나타낸 것이다.

터치 프로브는 구조가 간단하다는 장점은 있으나, 3점 불이 스타일러스를 지지하므로 측정방향에 따라 측정압의 차이와 초기이동량이 변화하여 오차가 발생하며, 프로브의 이동속도에 따라 프리 트래블 에러(Pre Travel Error)를 가지기 때문에 이에 대한 보상이 필요하며 측정속도가 비교적 낮은 단점을 가진다.^(4,5,6)

접촉식 스캐닝 프로브는 3축이 평행이동식 탄성기구를 가지며 피가공물에 접촉시 축압이 낮아(375g/mm) 피가공물을 손상시키지 않는다. 또한 응답성이 좋아 고속측정이 가능하다. 사용된 스캐닝 프로브는 X, Y, Z 3축의 분해능은 1 μ m이고, 선형성(Linearity)는 측정범위 2mm에서 $\pm 2\mu$ m이다. 그러나 본 연구에서 사용된 측정범위에서의 프로브 오차는 실험결과 약 $\pm 1\mu$ m를 나타낸다.

4.3 프로브와 공작물의 접촉에 따른 오차

접촉식 프로브를 이용할 경우 Fig 5에 나타냈듯이 일정한 직경을 갖는 불(Ball)이 부착된 스타일러스를 이용하여 측정을 한다. 측정하고자 하는 점은 P인데도 불구하고 불의 반경 때문에 Q점에 접촉한다. 편의상 Z축 방향만 생각할 때 이로 인해 발생하는 ΔZ 는 접촉점의 각도 θ 를 알면 구해진다. 임의의 자유형상에 대한 측정시 접촉점에서 θ 를 추정하는 방법은 몇가지 제안된 방법이 있으나 어떠한 방법이든 오차를 수반한다. 본 연구에서는 반경 25 μ m인 접촉식 프로브를 사용했으며 금형 곡면의 접촉점에서의 최대경사각이 15°이므로 Z방향의 측정 오차는 0.88 μ m가 된다.

4.4 프로브 설치에 따른 오차

OMM시스템은 가공이 완료된 후 공구를 측정 프로브로 교체하여 즉시 가공형상을 측정하는 시스템이다. 따라서 교체된 측정 프로브의 중심은 금형을 가공한 공구의 중심과 반드시 일치해야 한다. 만일 어느 방향으로 중심이 편심되어 있으면 형상의 목표위치와 측정위치가 차이가 나게 되어 정확한 측정이 되지 않는다. 본 연구에서는 프로브의 공구중심에 대한 편심을 측정해 이를 보상하기 위한 방법으로, 원의 중심값을 알고 있는 임의 직경을 갖는 원을 사용했다. 측정은 X, Y방향의 기준변위 펄스값과 CNC의 Skip 신호를 이용해 자동으로 편심량을 측정하여 측정된 편심량을 이용해 기계좌표를 자동으로 변경

하는 커스텀 매크로 프로그램을 이용했다. 접촉방향 전환을 위한 기준펄스는 20 μ m로 했으며 고속측정을 위해 2단계 접촉방식을 이용했다. 이 방법으로 임의 직경원의 중심을 10회 반복 측정된 결과를 Fig 6에 나타내었다. 이러한 방법을 이용해 금형을 가공한 공구의 중심과 측정 프로브의 중심은 최대 4 μ m의 오차가 발생하며, 이로 인한

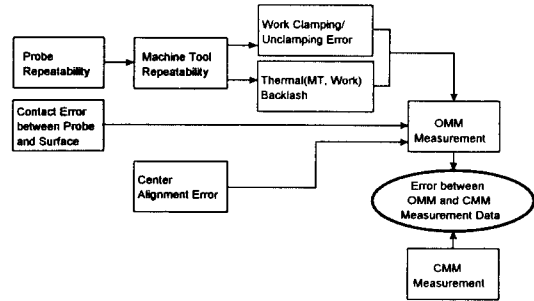


Fig 3 Error sources of measuring data

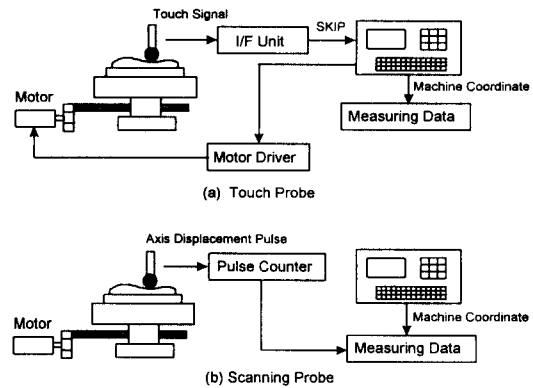


Fig 4 Measuring principles of probes

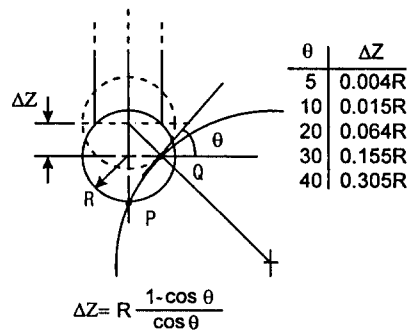


Fig. 5 Relationship between the probe radius R and contact point

Z방향의 측정오차는 1.07 μm 이 된다.

4.5 공작기계의 반복정밀도

OMM시스템에서의 반복정밀도 측정은 169점을 4회 반복 측정했으며, 측정시 매번 기준점을 설정했다. 측정결과와 반복정밀도의 차이는 2 μm 을 벗어나지는 않았다. 한 예로 169점 중 -2, -1, 0, 1, 2 μm 차이가 각각 2, 26, 93, 45, 3점으로 나타났다. 이에 대한 분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 이러한 반복정밀도는 공작기계의 정밀도와 측정 프로브의 정밀도가 포함되어 나타난 결과로 판단된다.

Table 4 Repeatability of OMM system

Measuring Data Type	OMM Repeatability
Average ($\pm \mu\text{m}$)	0.11
St. Dev. ($\pm \sigma \mu\text{m}$)	0.72
Max. Error ($\pm 3 \sigma \mu\text{m}$)	2.16

4.6 공작물 설치 환경에 따른 오차

측정물이 설치되어 있는 공작기계상에서 가공 이후 Pallet이 Clamp된 상태에서 Unclamp될 때 Pallet의 코너부의 4개의 측정점에서의 탄성회복에 따른 변위를 측정 한 결과는 Fig 7에 나타내었다.

Table 5는 OMM 시스템에서 Pallet의 Unclamp 상태에 대한 Clamp 상태에서의 측정치의 비교오차를 나타낸 것이며, Fig 8은 이 결과를 3차원적으로 표시한 것이다. 측정오차에 대한 분석결과는 Table 6에 나타내었다.

이 결과들을 비교분석해 보면 OMM의 측정오차에는 Pallet의 탄성회복에 따른 변위가 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4.7 기타 오차발생 원인

위에서 논의한 측정오차의 발생원인 이외에도 공작기계의 열변형, 가공물의 열변형, 공작기계의 미끄럼 안내면 등에서 발생하는 미소한 Stick Slip, 운동전달장치에서

Table 5 Relative error of pallet clamp state comparing with pallet unclamp state

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	-4	-5	-4	-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	-2	0	-1	0	+1	0	+1	+2
-147	-2	-3	-1	-1	-1	0	0	0	0	+1	+1	+1	+2

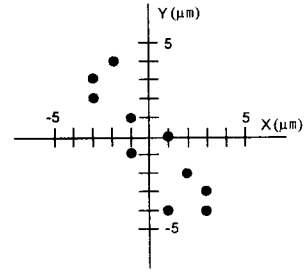


Fig 6 Center shift alignment

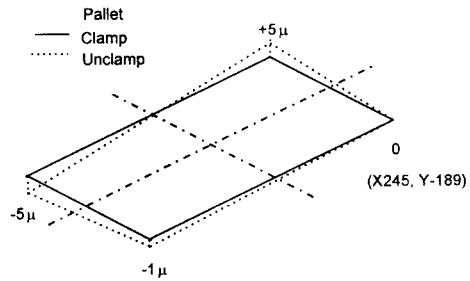


Fig 7 Elastic displacement of pallet due to unclamp

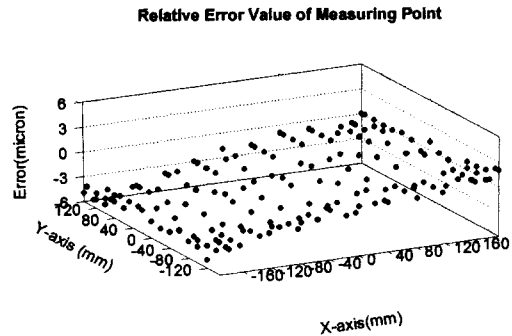


Fig 8 Relative error of pallet clamp state comparing with pallet unclamp state

Table 6 Relative error analysis depending on OMM setup states

Measuring Data Type	Unclamp - Clamp
Average ($\pm \mu\text{m}$)	-1.95
St. Dev. ($\pm \sigma \mu\text{m}$)	1.96
Max. Error ($\pm 3 \sigma \mu\text{m}$)	5.88

발생하는 Backlash 등으로 인한 OMM의 측정오차는 본 연구에서는 고려하지 않았다.

5. 고 찰

일반적으로 CMM에서의 측정은 Pallet이 Unclamp된 상태에서 수행되며, 측정시 가공열이나 기계오차, 측정대상 탄성회복 등의 여러 가지 영향이 제거되고 제품으로서 사용가능한 상태에서 측정하는 것이 일반적이다. 그러나 OMM에서는 이러한 요인으로 인한 오차가 측정값에 포함되는 단점을 가진다.

OMM 시스템에서 측정오차에 영향을 미치는 각 요인에 대한 분석 결과들과 금형의 측정실험 결과를 종합하여 OMM 시스템의 측정오차를 정량적으로 나타내어 보면 Fig. 9와 같다. 그림에서 보이듯이 프로브의 자체오차, 프로브와 공작물의 접촉에 따른 오차, 프로브의 설치에 따른 오차, 공작기계의 반복정밀도 그리고 공작물의 설치 환경에 따른 오차의 비율은 측정오차를 기준으로 할 때 각각 9%, 9%, 11%, 23%, 62%가 되고 있음을 보이고 있다. 이러한 오차원인을 분석해 보면, 해결이 가능한 오차와 해결이 어려운 오차로 구분이 된다.

오차 원인중 가장 비중이 높은 공작물의 설치 환경에 따른 측정오차의 경우, 공작물이 부착된 팔레트를 테이블에 Clamp 할 때 발생하는 체결력과, 가공 후 Unclamp 할 때 발생하는 탄성회복이 주된 오차원인이 되므로 이 항목에 대한 연구를 통해 OMM 시스템의 측정오차를 줄일 수 있는 방안을 강구되어야 한다. 그 방안으로서 Pallet의 설계시 높은 강성을 가지도록 설계하고, Pallet과 가공물, Pallet과 공작기계 테이블 사이의 접촉부의 최적설계, 적합한 형상공차 설정 등이 필요하고, 설치시 각 요소 간의 체결력을 일정하게 유지하기 대책이 필요하다. 이러한 대책은 특히 대형 가공물일 경우 더욱 중요한 사항들이라고 할 수 있다.

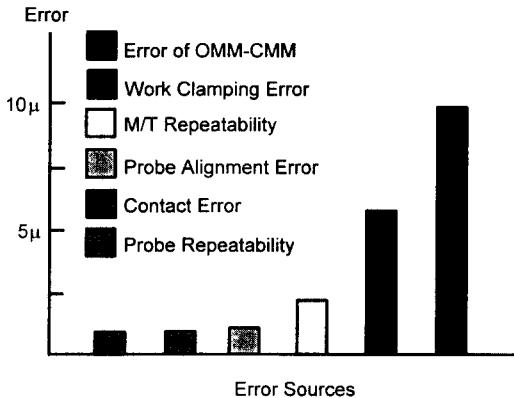


Fig 9 Quantitative analysis of error source of measuring data

또한 OMM의 잇점인 수정가공을 위해서는 Pallet의 Clamp 상태에서 측정해야 하므로 Pallet의 탄성회복에 따른 변위를 미리 측정해 두어 이 값을 가공물 측정치에 보정해 주는 것도 좋은 방법이 될 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 OMM시스템의 측정오차를 원인별로 분석 연구했으며 이러한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) OMM 시스템의 측정오차에 영향을 미칠 것으로 판단되는 항목들을 분석한 결과, 측정 프로브, 시스템의 반복정밀도 등 여러 인자의 영향을 정량적으로 구했으며, 그 결과 Pallet의 Unclamp으로 인한 탄성회복이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2) Pallet 설계시에는 접촉부의 최적설계와 적합한 형상 공차를 설정하고 강성이 큰 구조로 설계하며, 설치시에는 체결력을 일정하게 유지하므로써 OMM의 측정정도를 높일 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이춘식, 김선호, "삼차원 측정기의 CAD/CAM 응용", 대한기계학회지, 제32권 제5호, 1992.5
- [2] 김선호, 김인훈, "Scanning Probe를 이용한 OMM(On the Machine Measuring)시스템 개발 및 평가", 한국정밀공학회지, 제13권, 제10호, 1996
- [3] Keizo, U., "Die & Mold 3-Dimensional Measuring on the Machine", Conf. on Die and Mold technology, pp.208~209, 1994 (In Japanese)
- [4] 김선호, 김선호, "무인 선삭셀에서의 측정/검사 시스템", IE Interface 산업공학 제5권 1호, pp.15-23, 1992.4
- [5] John, J., "Touch Probe Calibration and Measurement on CNC Machining Center", SME Technical Paper IQ86-908, 1986
- [6] P.A. Green, "Error Modeling of Reverse Engineered Free Form Surfaces", Transactions of NAMRI/SME Vol.12, 1994