

機上測定 시스템 개발

이승우* · 김선호*

Development of On-the-Machine Measurement(OMM) System

Seung-Woo Lee · Sun-Ho Kim

〈Abstract〉

This paper describes the development of on-the-machine measuring(OMM) system which can directly measure the two and three dimensional machined accuracy using a scanning probe in milling machine. Two algorithms, NC program based continuous path(CP) measurement and CAD data assisted point to point(PTP) measurement, are developed for three dimensional measurements, with consideration of the characteristics of the scanning probe. The algorithms are used to develop an auto measuring system. The developed system is compared with the CMM (Coordinate Measuring Machine) in terms of accuracy and repeatability. The OMM system is expected to realize measurement time reduction and hence result in high productivity.

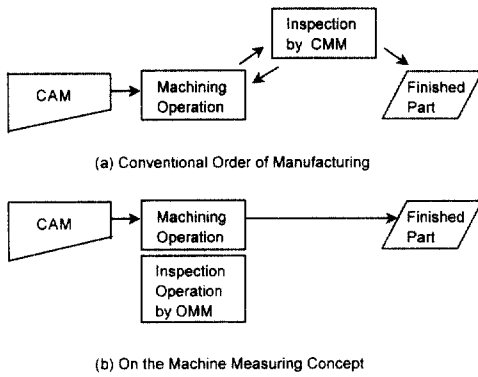
1. 서 론

전형적인 다품종 소량 생산형태를 갖는 금형 생산공정은 설계, 가공, 검사 등으로 구성되는 것이 일반적이며, 생산시스템의 효율을 높이기 위해 설계공정에는 CAD/CAM, 가공공정에는 CNC, DNC 등의 보급이 보편화 되었다[1]. 금형공장의 경우, 가공물의 형상측정을 위한 검사공정은 유연성이 높은 CMM(3차원 측정기; Coordinate Measuring Machine)을 설치하여 운영하고 있으나 관리가 어렵고 설치 및 측정시간이 길어져 비경제적 일 수가 있다. 또한 측정을 위한 가공물의 이동은 생산성 저하 요인이 되고 있으며 CMM의 한정된 크기 때문에 대형 가공물 혹은 공정중 착탈이 어려운 경우에는 적합한 측정방법이 없는 실정이다[2,3]. 또한, 금형은 제품 특성상 단품 생산이 많으며, 프레스 금형의 경우 많은 구멍을 포함하고, 사출금형인 경우에는 복잡한 3차원 곡면을 포함하기 때문에 대량 생산시스템의 경우와 같이 측정 및 검사공정을 별도로 두고 운영하는 것은 비효율적 일 수가 있다.

이러한 검사공정을 개선하기 위해 최근에는 공작기계에서 절삭가공이 끝난후 공작기계에서 공작물을 분리시키지 않은 상태에서 측정을 수행하는 機上測定(OMM; On-the-Machine Measuring) 시스템에 대한 연구가 이루어 지고 있다[4,5,6]. 공작기계의 정밀도 향상, 형상 측정용 센서의 정밀도 및 신뢰성 향상은 이러한 연구의 활성화에 크게 기여하고 있으며, 이를 바탕으로 한 대의 기계에서 절삭가공, 연마가공 그리고 측정이 이루어지는 복합가공기로 연구가 발전되고 있다. 기상측정 시스템의 도입에 따른 작업 흐름의 변화를 〈그림 1〉에 나타내었다.

본 연구에서는 금형 생산공정에서 검사공정의 생산성 향상을 위해 프레스 금형과 사출 금형을 대상으로 CNC 공작기계에서 가공이 완료된 후, 공구와 측정용 프로브(Probe)의 교체를 통해 기상측정이 가능한 시스템의 개발에 대해 연구했다. 여기서는 프레스 금형을 대상으로 개발된 2차원 측정 그리고 사출 금형을 대상으로 개발된 3차원 곡면 가공형상의 측정에 대한 연구내용 및 개발된 시스템의 측정정밀도, 정확도 그리

* 한국기계연구원 자동화연구부



〈그림 1〉 기상측정시스템을 이용한 생산시스템의 작업 흐름 변화

고 경제적 측면의 분석 결과를 소개한다.

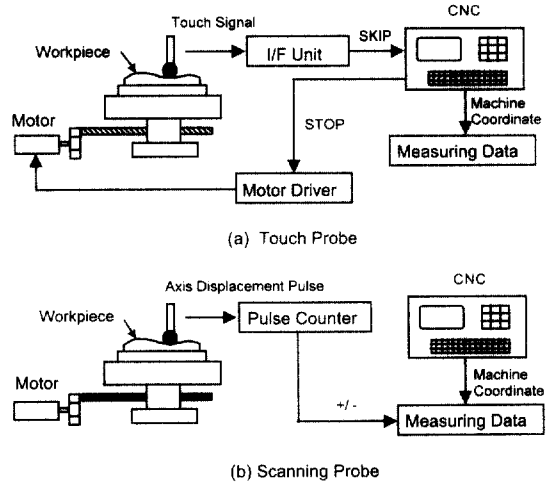
2. 시스템 구성

CNC 공작기계에서 기상측정을 위해 사용이 가능한 센서로는 3점 볼(Ball)의 점접촉을 이용한 터치 트리거 프로브(Touch Trigger Probe), 스타일러스(Stylus)가 평행이동기구를 갖는 스캐닝 프로브(Scanning Probe) 및 비접촉 방법인 레이저 변위계 등이 있다. 〈그림 2〉에 터치 프로브와 스캐닝 프로브를 이용한 측정원리를 나타내었다.

터치 프로브는 구조가 간단하다는 장점이 있으나, 3점 볼이 스타일러스를 지지하므로 측정방향에 따라 측정압의 차이가 발생하며, 초기 이동량의 변화로 인한 인한 오차가 발생한다. 또한, 〈그림 2〉에 나타난 바와 같이 터치 프로브는 CNC에서 접촉신호를 입력 받은 뒤 모터를 정지시키고 그때의 기계좌표값을 측정값으로 하기 때문에 프로브의 이동속도에 따라 프리트래블 에러(Pre-Travel Error)를 가지기 때문에 이에 대한 보상이 필요하며 측정속도가 비교적 느린 단점을 갖고 있다[7,8,9].

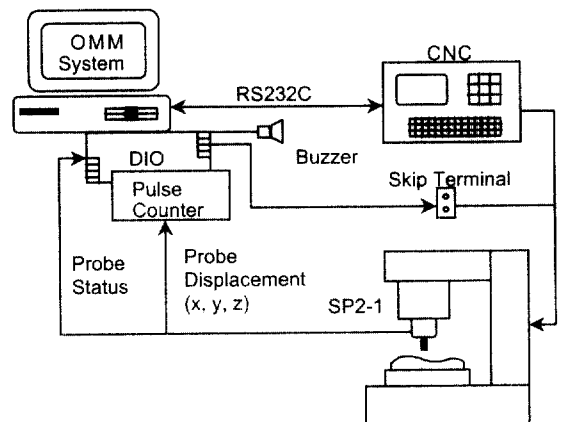
스캐닝 프로브는 스타일러스가 3축 평행 이동식 탄성기구를 가지기 때문에 탄성기구의 펄스(Pulse) 출력을 연산하는 것에 의해 간단한 형상측정을 가능하게 하며, 프로브가 가공물에 접촉시 측정속도(375g/mm)가 낮아 가공물을 손상시키지 않는다. 또한 높은 분해능을 가지면서도 응답성이 좋아 고속측정이 가능해[7].

이상과 같은 측정기의 특징을 고려하여 스캐닝 프로브(Renishaw SP2-1)를 이용한 기상측정시스템을 구성하였다. 구성된 시스템은 〈그림 3〉과 같이 응용 소프트웨어가 탑재된 PC



〈그림 2〉 터치 트리거 프로브와 스캐닝 프로브의 측정 원리

와 스캐닝 프로브가 설치된 CNC 공작기계는 측정 프로그램의 송신과 측정 데이터의 수신을 위해 RS-232C로 연결되어 있으며, 자동측정을 위한 CNC 스킵(Skip) 입력은 DI/O(Digital Input/Output)로 연결되어 있다. 사용된 스캐닝 프로브의 X, Y, Z 각 3축의 분해능은 1 μ m이고 선형성은 측정범위 2mm에서 $\pm 2\mu$ m이다. 그러나 본 연구에서 사용된 50 μ m 측정범위에서의 실험결과는 약 $\pm 1\mu$ m의 프로브 오차를 나타내었다. 스캐닝 프로브는 1축당 4개의 상(相(A, \bar{A} , B, \bar{B})) 데이터가 EIA-422-A 형식으로 출력되며, 출력되는 신호는 1주기가 4 μ m이기 때



〈그림 3〉 기상측정시스템 구성도



〈그림 4〉 기상측정시스템을 이용한 측정 모습

문에 이를 1 μ m로 분해 시키기 위해 특별히 제작된 펄스 카운터를 사용하여 측정값을 계산했다. 〈그림 4〉에 개발된 기상 측정시스템에서 측정중인 CP(Continuous Path) 측정 모습을 나타내었다.

3. 운영 소프트웨어

개발된 기상측정시스템은 측정대상의 특성을 고려하여 수동, 반자동, 자동 모드에 의한 측정 프로그램 생성 및 측정, 그리고 미리 지정된 좌표값을 따라 연속적으로 측정하는 PTP(Point To Point) 측정으로 구분하여 개발됐다.

수동측정의 경우 측정 위치까지 프로브를 수동으로 이동하여 측정하며 이는 특정점의 위치값을 측정하는데 사용된다. 이를 위해서는 측정값 전송을 위한 커스텀 매크로(Custom Macro) 프로그램과 스킵 신호가 이용된다.

반자동은 원의 중심을 측정하거나 공구의 중심과 프로브의 중심을 얼라인먼트(Alignment) 하는데 사용되며, 원의 중심 부근까지 프로브를 이동하는 데는 수동으로 하고 원 내부에서는 미리 작성된 커스텀 매크로 프로그램과 스킵 신호에 의해 자동으로 측정된다.

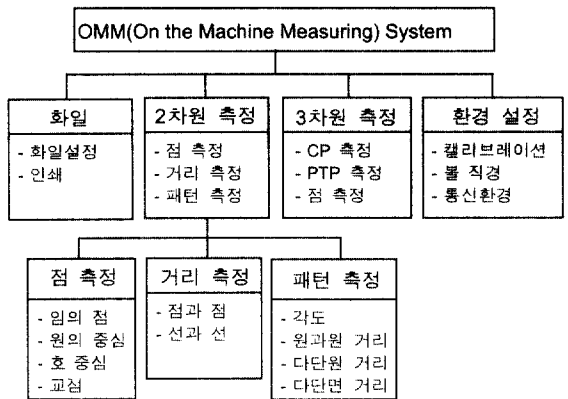
자동 모드는 가공에 사용된 NC 프로그램을 이용하여 가공면의 단면을 측정하는데 사용되며 프로브의 탄성변위 변화값이 측정값이 된다. 측정 프로브의 볼 크기는 공구경 크기와 동일한 것을 사용함으로써 반경방향 오프 (Offset)을 제거하는 방법이 사용되었다. PTP 측정은 CAD 데이터로 부터 측정하고자 하는 위치에 대한 형상 데이터를 추출할 수 있는 경우에 적용하기 위해 특별히 제안된 방법으로 지정된 X, Y 평면 위치에서 CAD로부터 제공되는 기준값과 측정값의 비교를 통해

측정되며, 이를 위해서는 미리 작성된 커스텀 매크로 프로그램이 사용된다. 여기서는 PTP 측정 대상물로서 TV 새도우 마스크(Shadow Mask) 금형을 이용했다. 측정에 사용된 프로브의 반경은 25 μ m인 촉침을 사용함으로써 프로브가 공작물에 접촉시 발생하는 반경방향 오차를 최소화 했다[6]. 〈표 1〉에 이들에 대한 특징을 나타내었다.

〈표 1〉 측정모드에 따른 분류

측정모드	측정 대상	측정 Stylus	필요 CNC 기능
수동	점	입의 직경	Custom Macro, Skip
반자동	원	입의 직경	Custom Macro, Skip
자동	3차원 자유곡면	가공용 볼 엔드밀과 동일 직경	
PTP	새도우 마스크	직경 50 \cdot 촉침	Custom Macro

위와 같이 분류된 측정 모드를 대상으로 개발된 기상측정시스템을 운용하기 위해 운영 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 운영 시스템은 IBM 호환 컴퓨터에서 DOS 환경 하에서 C 언어를 개발도구로 사용하였고, 4개의 주 모듈과 이를 구성하는 약 21개의 서브 모듈로 구성되어 있으며 소프트웨어 구성을 〈그림 5〉에 나타내었다.



〈그림 5〉 측정 소프트웨어 구성

기상측정시스템의 주 기능은 프레스 금형을 대상으로 한 2차원 측정과 사출 금형 측정을 위한 3차원 측정이며 측정을 위한 준비단계로서 환경과 측정결과를 저장할 수 있는 대상 파일을 설정해야 한다.

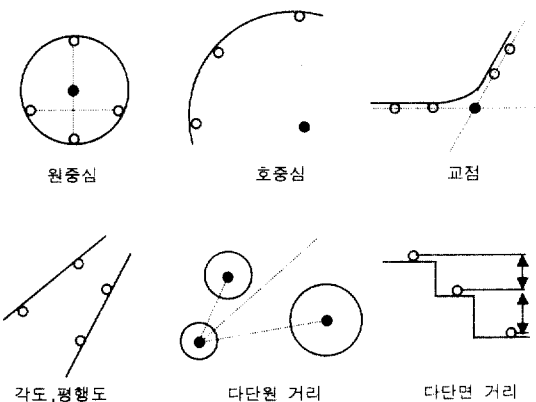
환경 설정은 측정 시스템의 초기화를 위한 캘리브레이션

(Calibration), 측정 오차보정을 위한 프로브 직경 및 RS-232C 통신을 위한 파라미터 설정 등으로 구성되어 있다. 측정 데이터를 관리하기 위한 2차원 측정 파일은 확장자가 .2DT, 3차원 측정 파일은 .3DT, 새도우 마스크 측정 파일은 .SMK로 구분하였으며 반드시 작업 개시전에 대상 파일을 설정하고 작업을 개시하여야 한다. 이 파일은 측정 값을 재출력 하거나 프린터로 출력할 때 다시 사용된다.

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, 가상 좌표 등으로 생각할 수 있다. 점과 점사이의 거리(ΔX , ΔY , ΔZ)는 시작점과 끝점을 정하여 수동조작과 관련된 매크로 프로그램을 통하여 측정값을 입력 받게 된다. 원호의 경우 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 <그림 6>에 2차원 측정기능을 나타내었다. <표 2>에 2차원에서의 측정 종류와 기능을 나타내었으며 <그림 7>에 임의의 위치점 측정결과를 나타내었다.

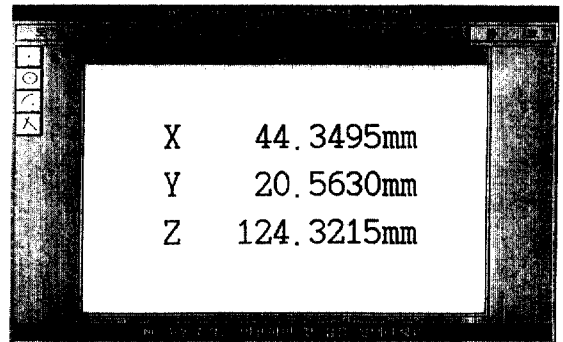
<표 2> 2차원 측정의 종류 및 기능

측정 종류	기능	비고	
점	임의의 점	가공물의 임의 위치(point) 측정	
	원의 중심	원의 중심점 및 반경 측정	
	원호 중심	원호의 중심점 및 반경 측정	
	두직선의 교점	두 직선상의 교점의 위치 측정	
거리	점과 점간의 거리	점과 점간의 거리를 측정	(ΔX , ΔY , ΔZ)
	직선과 점간의 거리	두점을 지나는 직선과 점과의 법선 거리를 측정	
Pattern	각도	면과 면간의 각도 측정	
	원중심과 원중심	원중심과 원중심간의 거리 측정	
	다단점	기준점에 대한 다단점의 위치간 거리	
	다단원	기준 구멍에 대한 다단 구멍간의 피치	(ΔX , ΔY)



<그림 6> 2차원 측정 기능

3차원 측정에서 CP 측정의 경우에는 기존의 가공용 NC 프로그램을 이용하여 측정용 프로그램을 생성하고 이를 사용하여 3차원 자유곡면 형상의 측정값을 연속적으로 검출한다. 이 측정은 자동모드에서 실행되는데, 사용자가 입력한 이송속도에 의해서 프로브의 속도가 결정되고 펄스 카운터를 통해 측정 데이터가 연산되어 측정형상이 단면으로 출력 된다. CAD



<그림 7> 2차원 임의점 측정결과

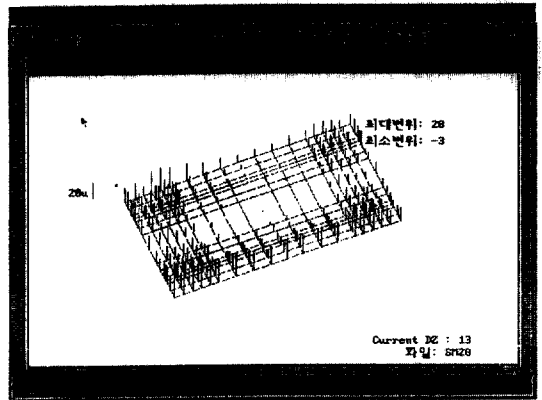
데이터 지원에 의한 PTP 3차원 측정은 측정위치 X, Y에 대한 Z 값을 기준치로 하여 측정 프로그램이 생성되는데, 금형의 크기에 따라 X, Y 방향 최대 10개의 측정 위치값을 지정할 수 있다. 본 연구에서는 PTP 측정 대상으로서 TV 새도우 마스크 금형을 사용했는데 이는 X, Y 양측에 대칭인 형상을 갖는다. <그림 8>은 14" TV 새도우 마스크의 측정을 위한 X, Y 기준 좌표 입력 화면을 나타낸 것으로 전체면의 1/4에 해당되는 값이다. 즉, X, Y측 각 5개의 측정 위치값 입력으로 81점의 측정이 수행된다.

여기서 단위길이는 NC 프로그램에서 X축 및 Z축 증분으로부터 얻어지며 프로브의 이송속도와 샘플링 주파수를 결정하면 이동 소요시간 및 총 샘플링 수를 산출할 수 있다. 미리 알고 있는 특정점에 대해 Z축 기준점을 설정한 후 측정을 시작하면 n개의 데이터가 샘플링되고 얻어진 프로브의 변위값을 이용해 Z축 데이터를 추출하여 연산 및 보정 과정을 통한 후 형상을 표현하게 된다[6]. <그림 9>에 CP 측정을 이용한 측정결과를 나타냈다.

4.2 PTP(Point To Point) 측정

PTP 측정이란 CAD 설계 데이터를 기준으로 금형 전체를 측정하는 방법이다. 이는 전 가공면을 측정하기 위해 각각의 X, Y 좌표에 대한 Z 좌표값을 CAD 데이터로부터 입력 받아 측정 프로그램을 생성한 후 CNC로 전송한다[6].

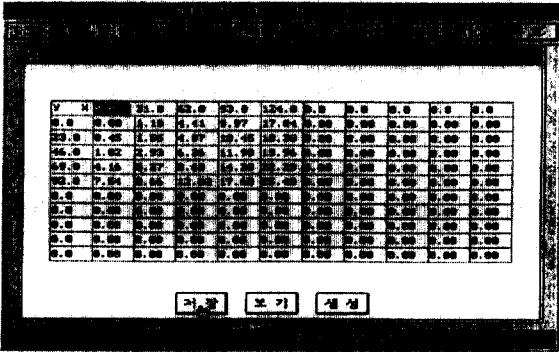
측정방법은 CMM의 측정방법과 유사하지만 본 시스템은 측정 프로그램으로 커스텀 매크로 프로그램을 사용하였다. 사용 커스텀 매크로 프로그램의 구조는 측정좌표 정보를 가지는 1개의 주프로그램과 측정할 X, Y 위치, 프로브가 접근할 Z 위치 및 측정좌표 전송 프로그램 등으로 이루어져 측정 프로그램 작성에 유연성을 부여했다. PTP 측정법에 의한 TV 새도우 마스크 측정결과를 <그림 10>에 나타내었다. 그림에서 +방향으로 표시된 것은 언더컷(Under Cut)을 의미한다.



<그림 10> PTP 측정 결과

5. 운용결과 고찰

개발된 기상측정시스템의 성능을 평가하기 위해 항온 항습



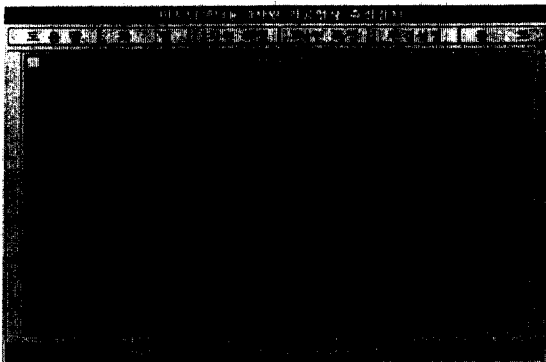
<그림 8> PTP 측정 프로그램 생성을 위한 데이터 입력

4. 3차원 측정 알고리즘

4.1 CP(Continuous Path; 연속) 측정

3차원 형상을 검사하는 방법은 전면을 검사하는 방법과 한 단면을 선택해서 단면을 검사하는 방법으로 나눌 수 있다. CP 측정이란 3차원 곡면중에서 한 단면을 선택해서 가공정밀도를 연속 측정하는 방법이다.

본 연구에서는 한 단면을 측정하기 위한 측정 프로그램을 금형을 가공하는데 사용된 NC 프로그램을 이용하여 생성하였다. 연속된 NC 프로그램에서 측정하고자 하는 단면의 가공 프로그램 1개 라인을 선택하여 측정 프로그램을 생성했을 때, 총 길이는 G01 코드에 의한 n개의 보간 코드로 구성되어 있다.



<그림 9> CP 측정 결과

이 유지되는 환경(22±1.5℃)에서 운용되는 3축 밀링 머신 (URAWA, Japan)을 이용했다.

측정정확도를 평가하기 위해서는 동일한 대상 금형을 본 연구에서 개발된 기상측정시스템에서 측정하고 이를 CMM에서 다시 측정하여 두 개의 측정기에서 얻어진 데이터를 기상측정 시스템의 반복정밀도, 측정정확도 그리고 경제성 측면에서 고찰했다. 사용된 CMM(UMM850, ZEISS)의 프로브는 직경이 3mm인 볼을 사용했으며 $U_1 = 2.5+L/300mm$ 그리고 $U_2 = 2.8+L/250mm$ 특성을 갖는다.

반복정밀도에 대한 측정은 PTP 측정법을 이용했다. 대상은 TV 새도우 마스크 28"로 했으며 지정된 측정방법에 따라 285 점을 4회 반복 측정하였으며, 측정시 매번 기준점을 설정하였다. 측정결과와 반복정밀도의 차이는 2μm을 벗어나지 않았으며 통계처리 결과를 <표 3>에 나타내었다. 이러한 반복정밀도는 기계의 정밀도와 측정시스템의 정밀도가 포함되어 나타난 결과로서 측정시스템으로서 양호한 결과로 판단된다[10,11].

<표 3> 반복정밀도

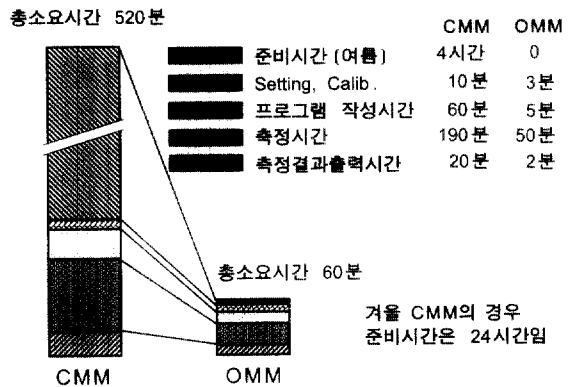
측정 모델	SM 28"
측정점수	285
평균(·)	0.10
표준편차(±·)	0.73
최대오차(±3σ·)	2.19

정확도 측정은 가공 후, 기상측정시스템에서 측정을 하고 이를 CMM으로 옮겨 동일한 방법으로 측정을 한 후 측정치를 비교하는 방법을 이용했다. 측정된 결과는 <표 4>에 나타난 것 같이 3개 모델 모두가 3σ 기준으로 10μm 이내에 들고 있다. CMM과 개발된 기상측정시스템과의 측정값 차이는 측정기의 정밀도 뿐 아니라 기상측정시스템에서 발생하는 공구와 프로브의 편심, CMM에서 발생하는 설치 오차 및 캘리브레이션 오차가 포함되어 나타난다[10].

<표 4> 측정정확도

측정모델	SM 14"	SM 21"	SM 28"
측정점수	63	169	285
평균(μm)	1.87	0.91	-0.55
표준편차(±μm)	2.55	2.81	3.31
최대오차(±3σ μm)	7.65	8.43	9.93

<그림 11>은 기존의 측정방법과 개발된 기상측정시스템을 적용했을때의 경제성 분석을 위해 측정 소요시간을 비교한 것이다. 기존의 방법은 가공환경의 온도와 CMM 측정환경의 온도 차이로 인한 측정오차를 줄이기 위한 열평형 등을 포함하는 준비시간이 길지만 기상측정시스템의 경우에는 이 시간이 필요 없게 된다. 또한, 측정시간에 있어서도 터치 트리거 프로브를 이용한 CMM에 비해 스캐닝 프로브를 사용한 기상측정 시스템이 매우 유리함을 보여주고 있다.



<그림 11> 기상측정시스템과 CMM의 측정 소요시간 비교

6. 결론

본 연구에서는 금형 생산공정에서 검사공정의 생산성 향상을 위해 프레스 금형과 사출 금형을 대상으로 CNC 동작기계에서 가공이 완료된 후, 공구와 측정용 프로브(Probe)의 교체를 통해 기상측정이 가능한 시스템의 개발에 대해 연구했다.

개발된 시스템을 평가한 결과 CMM을 이용한 기존의 금형 측정방법에서 발생하고 있는 어려움의 해결과 측정시간 단축으로 인한 생산성 향상 및 가공정도 향상에 따른 품질향상 등의 효과를 기대할 수 있었다. 반복정밀도는 TV 새도우 마스크의 경우(14", 21", 28") 평균 0.10μm, 표준편차 ±0.73μm으로 추정되었다. 이러한 반복 정밀도는 가공기계의 정밀도와 측정시스템의 정밀도가 포함되어 나타난 결과로서 매우 양호한 결과로 판단된다. 측정정확도의 경우 CMM 시스템과 비교하여 500X380mm의 X, Y 평면에서 10μm 이내의 정확도를 갖는 것으로 평가되었다.

향후 연구로는 OMM 시스템을 통한 가공형상의 오차에 대한 효율적인 수정가공 프로그램의 작성에 대한 연구가 준비되

고 있다.

【참 고 문 헌】

[1] 김선호, 이승우 외, "DNC 시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제12권 제12호, pp. 19-29, 1995

[2] Owen, J.V., "CMMs on the Shop Floor," Manufacturing Engineering, April, pp. 66~70, 1991

[3] 이춘식, 김선호, "삼차원 측정기의 CAD/CAM 응용," 대한기계학회지, 제32권 제5호, pp. 456-464, 1992

[4] Keizo, U., "Die & Mold 3-Dimensional Measuring on the Machine," Conf. on Die and Mold Technology in Japan, pp. 208~209, 1994

[5] 김선호, 이승우 외, "On Machine 가공형상 자동측정 시스템," LG전자 MTC 개발보고서, 1995

[6] 김선호, 김인훈, "Scanning Probe를 이용한 OMM 시스템 개발 및 평가," 한국정밀공학회지, 제13권 제10호, pp. 71~77, 1996

[7] 김선호, "機上計測 시스템의 활용기술," NC 공작기계세미나 자료집, 한국공작기계협회, 1996. 10

[8] John, J., "Touch Probe Calibration and Measurement on CNC Machining Center," SME Technical Paper IQ86-908, 1986

[9] Taylor, A., "Performance Characteristics of Touch Trigger Probes," SME Technical Paper MS90-266, 1990

[10] 이상준, 김선호, 김옥현, "OMM 시스템의 측정오차 원인 분석 및 대책," '97 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp 73~77, 1997. 5

[11] Fan, K.C., "A CAD-Assisted In-Cycle Gaging System," SME Technical Paper MS90-330, 1990



이승우

1989년 인하대학교 산업공학과 졸업
 1991년 인하대학교 산업공학과 공학석사
 현 재 한국기계연구원 자동화연구부 선임연구원

주 연구분야는 Shop Floor와 관련된 데이터베이스의 설계 및 구축이며, 이와 관련되어 FMS용 Manufacturing DB와 공구관리시스템에 관한 연구에 참여하고 있다. 본 연구와 관련하여 가공기기의 능동적인 제어 및 상태감시와 이를 바탕으로한 실시간 데이터처리 기법을 개발하는 것을 목표로하고 있다.



김선호

1984년 부산대학교 기계공학과 졸업
 1986년 부산대학교 정밀기계공학과 공학석사
 1997년 부산대학교 정밀기계공학과 공학박사
 현 재 한국기계연구원 자동화연구부 선임연구원

지금까지 주로 기계가공을 중심으로하는 생산시스템의 운용 및 단위기기의 효율향상을 위한 연구를 해왔으며, 최근에는 개방형 생산 시스템에 관한 연구를 수행하고 있다. 본 연구와 관련해서는 장기적으로 개방형 생산 시스템 체제하에서 복합가공기를 개발하는 것을 목표로 하고 있다.