

3차원 측정 기술과 동향(제2보)

소형 구조물용 접촉식

3차원 측정기 기술 현황 및 개발 동향(1)



김형주
(주)덕인 부설연구소



이동주
충남대학교 기계공학과

1. 서론

3차원 측정기(Coordinate Measuring Machine, CMM)는 물체의 표면 위치를 검출하는 기능을 가진 센서(프로브)가 3차원 공간을 이동하면서 측정점의 좌표를 검출하고 컴퓨터를 통해 그 데이터를 처리함으로써 크기나 위치, 방향 등을 측정하는 만능 측정기이다.¹⁾

CMM이 개발된 정확한 시기는 알 수 없으나 60년대 초 영국에서 등장한 것으로 알려지고 있다. 초기에는 레이아웃머신을 개조한 것으로 출발하여 오늘날까지 많은 발전을 이루어 왔으며, 특히 공작기계 분야에서 NC 기술이 발전함에 따라 보다 신속하고 다양한 측정 기법에 대한 요구가 증대되었고 이는 CMM의 CNC화를 촉진하는 계기가 되었다.

최근 들어 제품의 성능 및 품질향상에 대한 요구가 증가하고 측정 생산성 향상의 필요성이 대두되면서 이를 해결하기 위한 방안으로 대부분의 기업들이 CMM을 선택하고 있다.

또한 제품의 복합화와 CNC 공작기계의 발달 등으로 인하여 종래의 고전적인 측정 방식으로는 더 이상 효과적인 품질관리가 곤란하기 때문에 CMM 사용이 급속히 확산되고 있다.

그러나 CMM은 기계, 전자, 소프트웨어가 복합적으로 구성되어야 하는 기술적 어려움으로 인하여 일부 선진국에 의해서만 생산되고 있는 실정이며 국내에도 대부분 독일의 Zeiss, 일본의 Mitutoyo 그리고 미국의 Brown & Sharpe 등에서 생산한 제품이 주로 사용되어 왔다.

국내에서는 90년대 초 (주)덕인에 의해 접촉식 CMM이 본격적으로 개발, 생산되기 시작한 이래 보급률이 점차 증가하고 있는 추세이며 최근에는 비접촉식 CMM생산 전문 회사도 생겨나고 있다.

이 글에서는 접촉식 CMM의 기술 동향과 개발 현황을 두 차례에 나누어 소개함으로써 CMM에 대한 이해를 돕고자 한다.

2. 3차원 측정기의 구성 및 측정 원리

2.1 3차원 측정기 구성

CMM은 그림1과 같이 몸체, 전자제어장치, 컴퓨터 시스템으로 구성되어 있으며 각 부분의 기능을 요약해 보면 다음과 같다.

(1) 몸체

서로 수직방향으로 움직일 수 있는 세 축을 가진 기계부분이다. 각 축은 공기베어링 등에 의해 자유롭게 이동할 수 있으며 각 축에는 리니어 스케일과 같은 길이 측정 장치가 부착되어 있어 프로브와 공작물의 상대적인 이송 거리를 각 축 방향의 좌표로 표시한다.

각 축은 CMM을 조작하는 위치에서 보아 좌우 이동을 X축, 전후 이동을 Y축, 상하 이동을 Z축이라고 부르는 것이 보통이다.

몸체는 구조에 따라 그림 2와 같이 브리지형, 갠트리형, 캔티레버형, 컬럼형, 수평 암형 등으로 분류된다.⁽²⁾

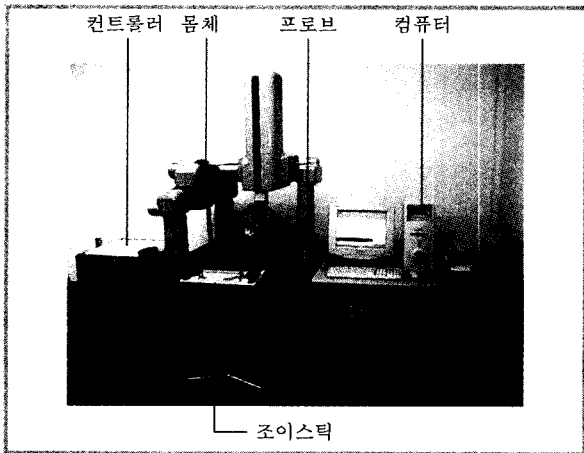


그림 1. 3차원 측정기 구성(Aec, Dukin)

(2) 컨트롤러

컨트롤러는 프로브의 정확한 위치 제어를 위해서 CMM 구동부에 대한 위치, 속도, 가속도 등을 제어하고 측정기의 안정성과 정확도 유지를 위한 감시 장치의 기능을 수행한다.

또한 조이스틱이나 프로브에서 입력되는 각종 명령을 접

수하고 반응하며 컴퓨터와의 신속한 통신을 실시하는 기능을 담당한다.

그 외에도 CMM 본체 및 컴퓨터 시스템, 회전 테이블 등의 부속 장치에 전원을 공급하고 좌표값을 지시하며 컴퓨터와 몸체 사이의 매개 역할을 하는 등 매우 중요한 기능을 담당하고 있다.

(3) 컴퓨터 및 주변 기기

컴퓨터는 몸체에서 지시된 좌표값을 이용하여 여러 가지 복잡한 형상을 계산하고 출력하는 기능을 수행한다. 또한 공작물의 수학적 정렬을 가능케 함으로써 측정시간 단축 및 정확도 향상에 기여한다. 최근에는 측정오차 보정, 측정 결과의 그래픽 표현, CAD/CAM 시스템과의 통신 등의 기능을 함께 담당한다.

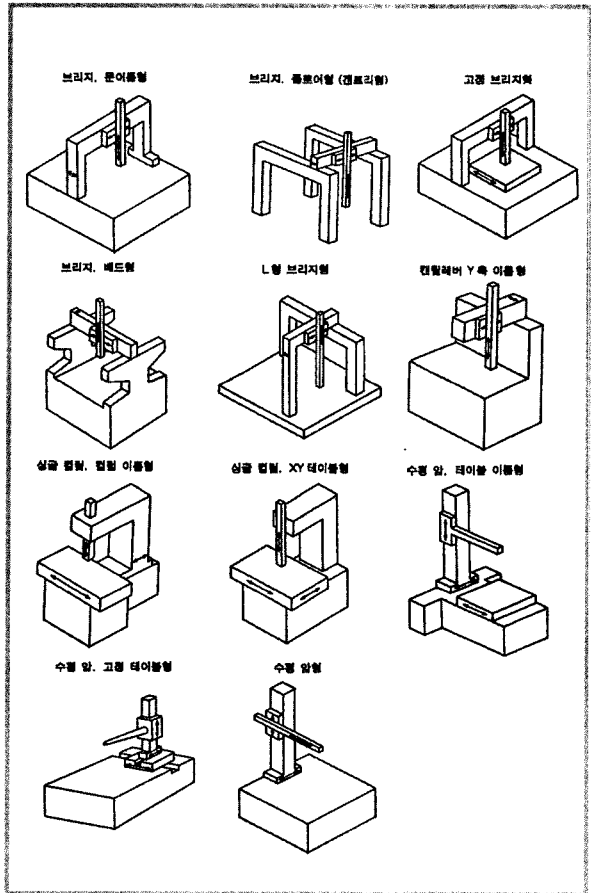


그림 2. 몸체의 구조에 따른 분류

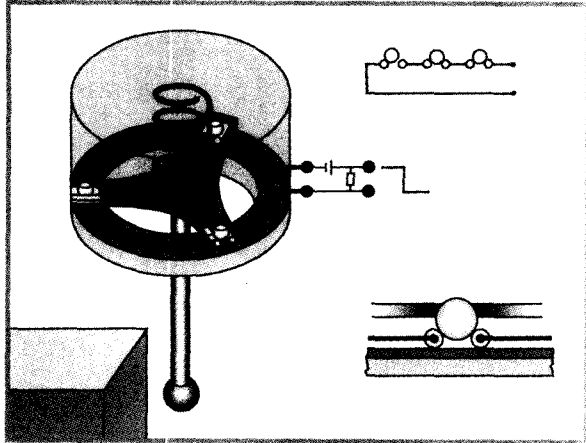


그림 3. 접촉 신호식 프로브의 내부 구조

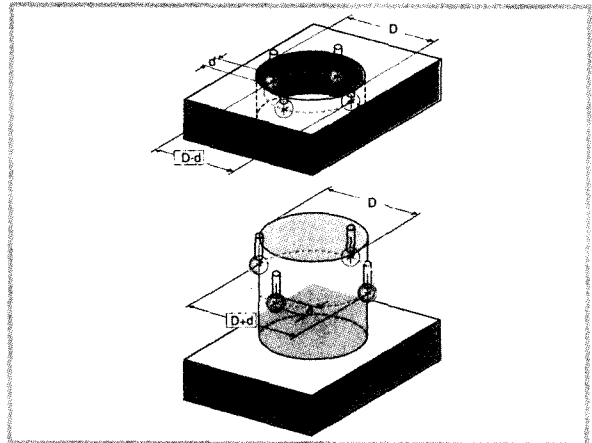


그림 4. 프로브 중심을 이용한 원 계산

(4) 프로브

프로브에는 고정식, 접촉 신호식, LVDT식, 비접촉식 등이 있다. 현재 대부분의 CMM은 영국의 Renishaw에서 생산하는 접촉 신호식 프로브를 사용하고 있으며 특수한 기능을 필요로 하는 경우에는 LVDT를 이용한 스캐닝 프로브나 비접촉 프로브를 사용하기도 한다.

그림 3은 Renishaw의 접촉 신호식 프로브의 내부 구조를 간단히 보여주고 있다.

접촉 신호식 프로브는 기본적으로 프로브 하단에 달려있는 촉침이 공작물에 접촉하는 순간 압력에 의해 전기 접촉의 상태를 변화시켜 신호를 발생시키는 원리로 되어있다.

용도에 따라 측정압에 의한 영향을 제거하여 정밀도를 향상시킨 제품이 사용되기도 한다.

2.2 측정 원리

모든 접촉식 CMM에서는 프로브의 중심 좌표와 프로브의 반지름을 이용하여 측정 결과를 계산한다.

일단 프로브가 공작물에 접촉하는 순간 스케일로부터 얻어낸 프로브 중심 좌표를 이용하여 필요한 요소를 계산하는데 이 때 계산된 결과로부터 프로브 반지름을 보정하여 접촉점을 구한다음 그 점을 이용하여 실제 요소를 계산한다(그림 4). 이 때 요소를 계산하기 위해서 수학적으로 필요한 최소 점 수를 초과해서 프로빙하면 요소의 치수와 기

하편차가 동시에 계산된다.

3. 3차원 측정 소프트웨어

3.1 3차원 측정 데이터의 특징

접촉식 CMM은 프로브를 공작물에 접촉시켜 좌표를 읽어내는 방식을 취하기 때문에 접촉점과 측정점이 다를 수밖에 없고 실제 접촉점의 위치를 정확히 파악하기 곤란하다는 문제점이 있다.

따라서 측정 결과는 프로빙 할 때 얻어낸 프로브의 중심 좌표에 프로브 지름 등의 측정 조건을 고려하여 소프트웨어적으로 계산하여야 한다(그림4).

모든 데이터는 수학적인 알고리즘에 의해 계산되므로 치수와 GD & T를 동시에 평가할 수 있고 직접 측정이 불가능한 부분의 측정값 산출도 가능한 것 등의 장점을 가지고 있으나 단순히 두 점간의 거리를 1차원 적으로 측정하는 정반 측정 방식과는 달리 여러 점을 이용하여 평균값을 계산하므로 기존의 측정값과는 개념이 다르다는 문제점도 나타날 수 있다.

정반 측정 방식에 비해 CMM 측정 결과가 갖는 특징은 다음과 같다.

(1) 측정 좌표계의 수학적 정렬

공작기계에서는 기계 축과 공작물을 평행하게 설치하는

기계적 정렬이 필수적이거나 CMM에서는 측정기 축에 대한 공작물의 경사각도를 컴퓨터에 인식시켜 보정함으로써 공작물 설치에 필요한 시간을 단축시킬 수 있다.

또한 데이터 면의 가공상태가 완전하지 않은 경우에도 평균값을 계산 함으로써 오차를 줄일 수 있다.

(2) 치수와 GD & T 동시 계산

고전적인 측정 방식에서 원형 공작물을 측정할 경우 지름은 마이크로미터, 진원도는 다이얼 게이지와 브이 블록을 이용하여 각각 측정해야 하지만 CMM에서는 원 계산을 위해 수학적으로 필요한 최소점을 초과하여 프로빙하면 지름과 진원도가 동시에 계산된다.

(3) 직접 측정이 불가능한 부분의 계산

교차하는 두 축간의 거리 등과 같이 직접 프로빙하여 측정할 수 없는 경우에도 CMM을 이용하면 두 축을 측정한 결과를 이용하여 측정값을 산출해 낼 수 있다.

(4) 여러 점을 이용한 통계적 개념의 측정값

고전적인 측정방식에서는 두 점간의 거리를 측정하지만 CMM에서는 여러 점을 측정하여 통계적인 개념으로 측정값을 계산한다. 따라서 고전적인 측정값과는 차이가 있을 수 있다(그림 5).

(5) 다양한 응용분야

CMM에서는 각종 전용 옵션 소프트웨어를 이용하여 기어, 블레이드, 임펠러 등 고전적인 방식으로는 측정이 불가능한 공작물을 측정할 수 있으며 품질관리를 위한 통계적

리도 가능하다.

(6) CAD/CAM 호환

CMM에서 측정된 데이터는 CAD/CAM 또는 기타 외부 시스템이 필요로 하는 형식으로 변환시킬 수 있다. IGES 또는 DXF와 같이 일반적으로 사용되는 중립 파일뿐만 아니라 다양한 구조를 갖는 ASCII 파일로의 변환이 가능하다.

3.2 데이터 계산 방식^{(3) (4)}

3차원 측정을 통해 얻고자 하는 원, 직선 평면 등 기본 요소의 정의는 기하학적으로 완전한 형태를 갖는다고 가정하는 것이므로 실제로는 존재하지 않는다.

따라서 CMM을 이용하여 얻어낸 좌표를 이용하여 측정 결과를 계산하기 위해서는 몇 가지 수학적 알고리즘이 사용되는데 주로 사용되는 방식은 다음과 같다.

(1) 최소자승법(Least squares)

계산된 결과로부터 실제 형상까지의 거리를 편차라고 가정했을 때 이 편차의 제곱 합이 최소가 되도록 계산해 주는 방식이다.

불규칙한 점에 의한 영향이 적고 알고리즘이 명확하므로 일반적으로 가장 많이 사용하지만 평균화 개념이므로 측정 결과와 조립성이 일치하지 않는다는 문제점이 있다.

(2) 접촉요소법(Contact Element Method)

이 방법은 이상적인 형상을 갖는 상대부품이 조립되는

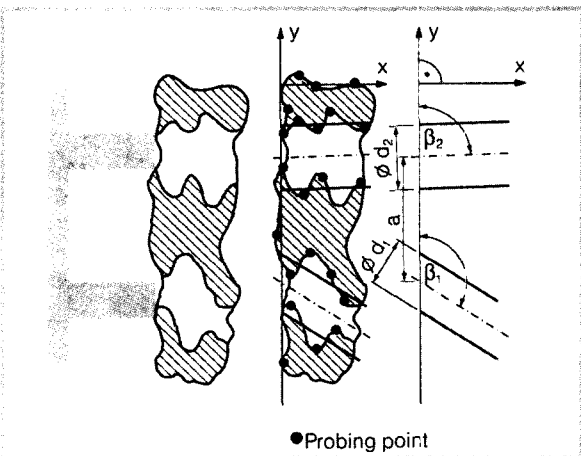


그림 5. 프로빙 점을 이용한 수학적 계산

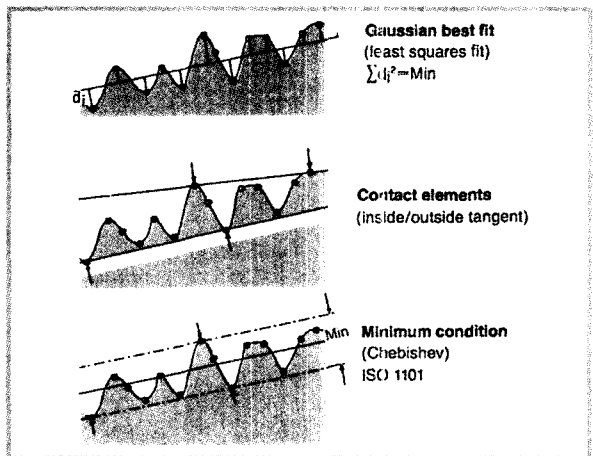


그림 6. 데이터 계산 방식

것을 가정하여 계산하는 방식이다.

측정 결과와 조립성이 일치하므로 작업 현장에서 유용하게 활용할 수 있으나 명확한 알고리즘이 존재하지 않으므로 시행착오법(Error & Trial Method)을 이용하여 계산해야 하고 특정한 한 점에 의한 영향을 크게 받는 문제점이 있다.

(3) 최소영역법(Minimum Zone Method)

형상을 둘러싸는 평행한(또는 동심인) 두 요소의 거리가 최소가 되도록 계산하는 방식이다.

이 방식을 사용하면 형상오차가 최소가 되며 ISO 1101등에 규정된 형상 공차의 정의와 가장 유사한 계산 방식이다.

그림 6 은 이들에 대한 개념을 설명해 주고 있다.

3.3 3차원 측정 소프트웨어의 종류

3차원 측정기의 활용도를 높이기 위해서는 적절한 용도의 소프트웨어가 필수적이다. 3차원 측정에 사용되는 소프트웨어의 종류는 다음과 같다.

(1) 범용 소프트웨어

기하학적인 측정과 옵션 측정을 위한 준비를 담당하는 소프트웨어이다. 점, 원, 구 등 기본적인 요소 측정은 물론 수학적인 좌표계 정렬, 측정된 요소의 조합을 통한 새로운 측정 결과 산출 등 대부분의 측정이 이루어 진다.

주요 CMM제조사의 기본 측정 소프트웨어는 표 1에서 보는 바와 같다.

(2) 형상 측정 소프트웨어

2차원 곡선 및 3차원 곡면을 측정하는 소프트웨어이다. 형태가 일정하지 않은 복잡한 형상 측정이나 역설계(Reverse Engineering)에 주로 이용된다.

(3) 통계처리 소프트웨어

표 1. 주요 CMM제조사 별 범용 소프트웨어

구분	소프트웨어 명	컴퓨터 운영체제
Dukin(한국)	NeuroMeasure	PC Windows
Mitutoyo(일본)	GEOPAK	PC Windows
B & S(미국)	PC-DMIS	PC Windows
Zeiss(독일)	UMESS UX	WS Unix
Sheffield(미국)	MeasureMax	PC Windows
LK(영국)	CAMIO	PC Windows

측정된 결과를 통계적 공정관리(SPC)에 필요한 형태로 처리하는 소프트웨어이다. 측정과 동시에 실시간으로 히스토그램, 파레토도 및 각종 관리도를 출력한다.

(4) 검사성적서 소프트웨어

정해진 양식대로 검사성적서를 자동으로 작성하는 소프트웨어이다. 3차원 측정기로 측정한 후 필요한 데이터를 양식에 옮겨 기록하던 종래의 틀에서 벗어나 측정과 동시에 검사성적서가 작성되므로 측정 효율을 크게 높일 수 있다.

(5) 전용 옵션 소프트웨어

각종 기계 요소 또는 특수한 목적으로 사용되는 소프트웨어이다. 3차원 측정기에서 전용 옵션 소프트웨어를 사용함으로써 생산성 및 신뢰성이 향상되었으며 지금까지 측정이 불가능했던 항목을 측정할 수 있게 되었다.

대표적인 옵션 소프트웨어의 종류는 다음과 같다.

- 기어 측정 소프트웨어
- 캠 측정 소프트웨어
- 블레이드 측정 소프트웨어
- 임펠러 측정 소프트웨어
- 비구면 소프트웨어 등

(6) CAD/CAM 관련 소프트웨어

CMM과 CAD/CAM 시스템 간에 데이터를 교환하기 위해 사용되는 소프트웨어이다. CAD 데이터를 이용하여 오프라인으로 3차원 측정 프로그램을 작성하는 소프트웨어 등이 이에 속한다(그림 7).

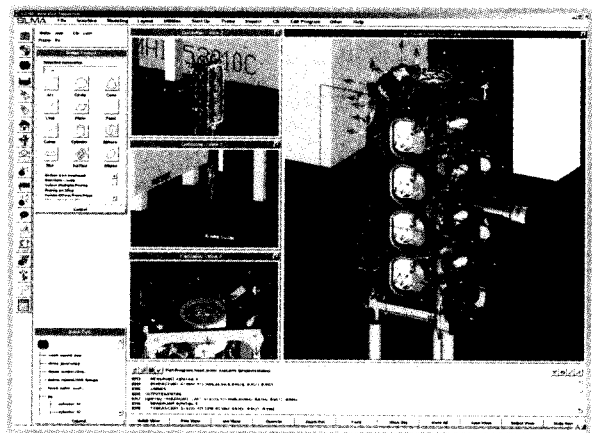


그림 7. CAD 파일을 이용한 CMM프로그래밍 (CimStation Inspection, Silma)

4. 산업 현장에서의 응용⁽⁵⁾⁽⁶⁾

4.1 3차원 측정기의 역할

CMM은 산업 현장에서 단순한 측정 기능 이외에 CMM만의 고유한 역할을 담당하고 있는데 요약해 보면 다음과 같다.

(1) 복합 게이지

CMM을 사용하지 않을 경우 치수, 각도, 위치, 형상 등을 각각 측정해야 하고 또한 각 항목을 측정하기 위한 여러 가지 측정기가 필요하다.

반면 CMM을 이용하는 경우 모든 항목을 동시에 측정하고 계산할 수 있으므로 복합 게이지 기능을 수행할 수 있을 뿐만 아니라 다품종 소량 생산 시 각각의 치수에 대응하는 게이지를 제작해야 하는 종래의 시스템을 대체할 수 있는 전용 게이지로서의 역할이 가능하다.

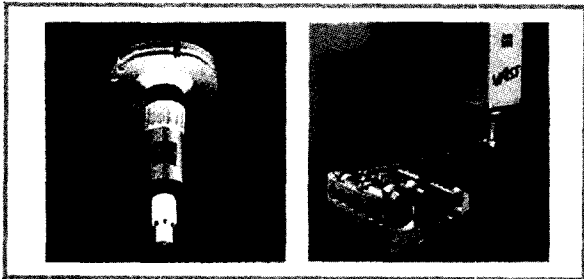


그림 8. 다양한 센서 사용 예(Prismo Zeiss)



그림 9. 다양한 센서 사용 예(Prismo Zeiss)

또한 프로브 자동 교환 장치를 이용하여 표면거칠기 센서, 온도 센서 등 여러 가지 센서를 교환해 가며 활용할 수 있다(그림 8).

(2) 컴퓨터를 이용한 통합 생산 방식(CIM) 구축

CMM은 CIM을 구축하는 중요한 단위 CELL 기능을 수행할 수 있다. 이는 자동화, 무인화를 지향하는 미래의 생산 시스템에 반드시 필요한 역할이다(그림 9).

CAD/CAM 분야에 비해 정밀측정 부문이 상대적으로 표준화, 호환성이 부진함으로써 CIM 구축에 많은 어려움이 있었으나 CMM이 등장함으로써 이러한 문제점을 극복하게 되었다.

(3) 고난도 제품의 측정 표준 제공

산업구조가 고도화 되면서 생산되는 제품의 기능이 고급화 되고 난이도가 점차 증가되어 종래의 고전적인 방법으로는 완전한 측정이 불가능한 제품이 등장하게 되었다.

예를 들어 임펠러의 경우 개발에서 양산까지 수많은 실험과 컴퓨터를 이용한 모델링이 필요하지만 마땅한 좌표 측정 방법이 없어 모든 데이터를 경험 및 감각에 의존하여 판단하므로 많은 시행착오를 겪을 수밖에 없고 품질 또한 조악해진다.

그러나 CMM에서 임펠러 소프트웨어를 이용할 경우 정확한 좌표 측정이 가능하므로 이를 바탕으로 한 모의 실험을 통해 원하는 정보를 얻어낼 수 있다.

이 경우 CMM을 이용한 측정 방법이 임펠러 측정의 표준이 된다. 임펠러 뿐만 아니라 블레이드, 비구면 렌즈 등을 측정할 때도 같은 개념이 적용되며 이러한 현상은 점차 증가하는 추세이다.

4.2 3차원 측정기 사용시의 효과

마이크로미터 또는 다이얼 게이지와 각종 지그를 이용하여 정반 상에서 측정하는 종래의 측정 방식에 비해 CMM을 사용할 경우 다음과 같은 효과가 있다.

(1) 측정의 편리성

범용 측정기로 형상이나 위치 편차를 측정하는 경우 각종 지그를 이용하여 여러 번 측정해야 하고 복잡한 형상의 경우 측정이 불가능하다.

그러나 CMM에서는 치수와 형상, 위치 등을 동시에 측정하고 계산하므로 측정이 편리하다.

(2) 측정 시간 단축 및 정밀도 향상

범용 측정기로 복잡한 제품을 측정하는 경우 세팅과 측정값 계산에 시간이 오래 걸리고 데이터가 계속 변경되므로 정밀도가 저하된다.

반면에 CMM을 이용하는 경우 복잡한 측정값도 컴퓨터에 의해 신속히 계산되므로 측정 시간이 단축되고 여러 개의 프로브와 좌표계 변환에 의해 데이터를 계속 유지한 상태에서 측정할 수 있으므로 측정오차가 줄어든다.

(3) 측정의 유연성 향상

형상이 다른 여러 가지 공작물을 프로그램 변경을 통해 연속해서 측정할 수 있고 형상이 비슷한 공작물은 프로그램 일부를 수정하여 다시 사용할 수도 있다.

필요한 경우 CAD/CAM 시스템과 같은 외부 시스템과의 연결을 통해 정보를 공유할 수 있다.

(4) 실시간 품질관리

복잡한 공작물의 경우 가공시간에 비해 측정 시간이 오래 걸리기 때문에 샘플링 검사를 실시하고 있으나 샘플링 검사에서 불량률이 발견되면 로트 전체를 불량 처리 해야 하는 문제가 발생하게 된다.

CMM을 사용하면 가공(또는 조립)시간에 맞춰 전수 검사가 가능하므로 실시간 품질 관리를 통해 불량 발생 즉시 조치를 취할 수 있다.

(5) 측정 결과 자료화

측정값을 별도로 계산하고 기록할 필요가 없이 측정 결과가 직접 검사성적서로 출력되므로 능률이 향상되고 데이터 베이스 구축이 가능하다.

(6) 다양한 전용 소프트웨어 활용

CMM에서는 치수나 각도 등을 측정하는 범용 측정 뿐만 아니라 통계 처리, 곡면 측정, 기계 요소 측정 등 각종 옵션 활용이 가능하다.

4.3 대표적인 응용 사례

(1) CMM과 CAD 시스템과의 통합으로 생산성을 향상시킨 경우

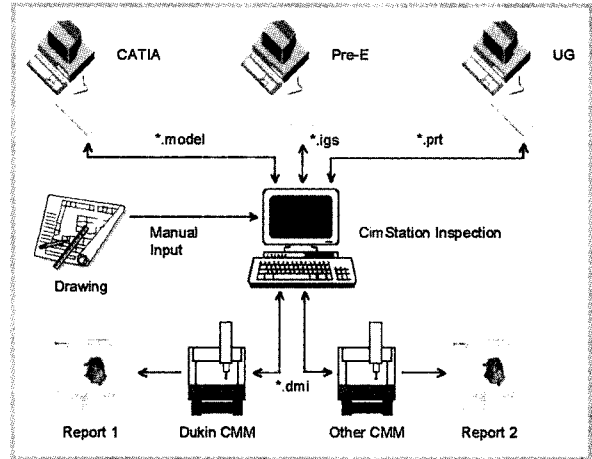


그림 10. CMM과 CAD 시스템의 연계 구성도

H사의 엔진 부품 검사공정에서 CMM과 CAD시스템을 통합하여 측정 생산성을 향상시킨 경우이다.

측정 프로그램 생성에서 측정 및 검사성적서 작성에 이르는 전 과정을 자동화함으로써 측정 시간 단축 및 능률 향상을 실현하였다(그림 10).

CAD 파일을 이용하여 DMIS(Dimensional Measuring Interface Standard) 프로그램을 생성하는 오프라인 프로그래밍 소프트웨어와 측정 결과를 도면의 상의 지정된 위치에 표시해 주는 그래픽 검사성적서 소프트웨어가 사용되었다.

(2) 새로운 개념의 표준화에 이용되는 경우

K사에서 비구면 렌즈의 품질 관리에 CMM을 이용하고 있는 사례이다. 측정 방법 및 검사성적서 양식 등을 표준화

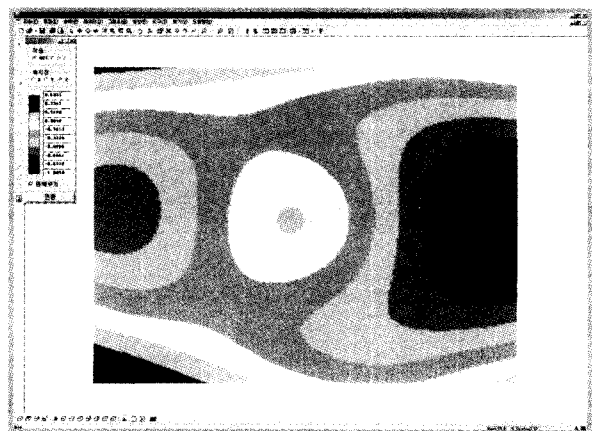


그림 11. 비구면 렌즈 측정 결과

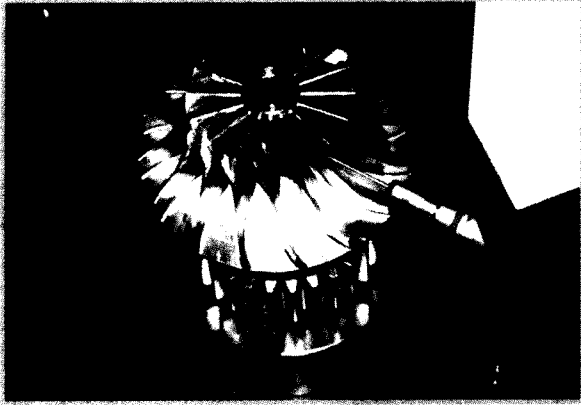


그림 12. 임펠러 측정 장면

하여 공정 검사 및 완성 검사에 적용함으로써 품질 관리의 효율화를 실현하고 있다(그림 11).

(3) 대안이 없는 유일한 방법으로 이용되는 경우

C사에서 임펠러 개발 및 양산 품질 보증에 CMM을 활용하고 있는 사례이다. 기존의 여러 가지 측정 방법이 제품 특성상 요구하는 항목을 충족시키지 못함에 따라 CMM을 이용한 새로운 측정 방법을 개발하여 설계 데이터 검증 및 품질관리에 적용하고 있다(그림 12).

5. 결론

지금까지 CMM에 대한 기술적인 사항과 응용 사례에 대하여 고찰하였다. 앞서서도 언급한 바와 같이 CMM은 산업 현장의 품질 관리를 위해 필수 불가결한 장비이다. 그러나 CMM은 장비 자체가 고가일 뿐 만 아니라 효율적인 운

영을 위해서도 많은 노력이 필요하기 때문에 이에 대한 사전 준비가 필요하다.

즉, 하드웨어의 특성 상 정밀도 유지를 위한 노력은 물론 지속적인 보수, 유지가 이루어져야 하고 장비 사용자에 대한 지속적인 교육 훈련 및 소프트웨어 개발 지원이 뒷받침되어야 한다.

이를 위해서는 CMM 제작 업체의 적극적인 고객 지원은 물론 산학 연계를 통한 체계적인 신규 인력 양성 및 현장 기술자에 대한 재교육이 필요하다.

(주)덕인은 현재 실무 중심의 CMM 기술 인력 양성을 위해 자체 교육센터를 운영 중에 있으며 향후 지역별 거점 교육 기관과의 연계를 통해 기술 인력 양성 사업을 확대해 나갈 계획이다.

참고 문헌

- (1) 엄태봉 등, "3차원 측정 및 레이저 응용 측정", 1992, 공업진흥청
- (2) KS B 5542-1990, "3차원 좌표 측정기의 정밀도 시험 방법", 1990, 한국공업표준협회
- (3) H. J. Neumann, "Coordinate Metrology", 1993, Carl Zeiss
- (4) John A. Bosch, "Coordinate Measuring Machine and Systems", 1995, Marcel Dekker, Inc.
- (5) 뉴로메저 응용 기술, 2001, (주)덕인
- (6) Innvation 4, 2002, Carl Zeiss