길이 및 형상 측정의 자동화

박 준 호

Automation of Length and Profile Measurement

June-Ho Park

● 박준호(대성산업(주) 대성중앙연구소)
● 1953년생
● NC 공작기계의 성능평가 및 측정법을 전공하였으며, 정밀측정시스템, 정밀공작기계, CAT에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

측정(measurement)이란 하나의 실험과정에 의해 물리적인 양 또는 크기의 단위를 알아내는 것으로 방식(수단), 대상(물리량) 및 목적을 수반하는 객관적 검사(Inspection) 행위이다. 원하는 부품을 가공기계로 가공하여 원하는 목적에 따라 형상, 치수, 가공방법 및 재질의 상태 등이 기준에 적합한가를 가공중 또는 가공 후에 측정하는 것을 생산가공측정 혹은 공작측정(Fertigungsme β technik)이라 한다. 생산가공 공정에서의 측정결과는 제작과정을 분석, 평가 및 제어할 수 있도록 검사 결과 자료를 제공하여 주며, 허용오차 내에 있는 제품은 생산하되, 허용오차를 벗어나는 제품은 생산하지 못하도록 하는 역할을 한다.

90년대 국내 수준에서 볼 때, 광학식 리니어 스케일, NC 공작기계 및 삼차원 측정기 분해능 수준인 0.1~1 μm 수준의 측정을 정밀 측정이라 할 수 있으며 이에 비해 고정밀 혹은 초정밀 측정이라 하는 것은 nm (10^{-2} ~10^{-4} μm) 수준의 측정을 의미한다. 즉 나노테크놀로지(nanotechnology) 영역으로서 이는 0.1~100nm를 다루는 가공 측정 기술을 의미하는 것이다. 이러한 측정 정밀도는 그림 1과 같이 마이크로미터로부터 주사형터널효과 현미경(STM)에 이르기까지 시대적으로 급격히 발전함을 알 수 있다.[1]

일반적으로 측정 방식은 직접측정과 간접측정으로 구분되며, 직접측정이란 측정기구(게이지 등)를 사용하여 기준이 되는 양과 직접 비교하는 것이며 간접측정이란 측정되는 양과 일정한 관계를 맺고 있는 양에 대해 직접 측정하여 계산에 의해 목적하는 양의 값을 구하는 것이다. (예: 레이저 간섭계에 의한 공작기계의 정밀도 측정방법) 또한 물리량에 따라 절대적으로 측정하는 절대측정 방식과 이미 알고 있는 표준의 양과 비교하는 상대측정 방식(예: 다이얼게이지, 공기·전기 마이크로미터)으로도 분류된다.

측정의 자동화란 측정행위를 기계적 도움과 컴퓨터의 도움을 받아서 사람이 할 수 있는 행위를 대신한 것을 의미한다. 표 1에 사람의 기능을 대신한 자동 측정장치를 비교하

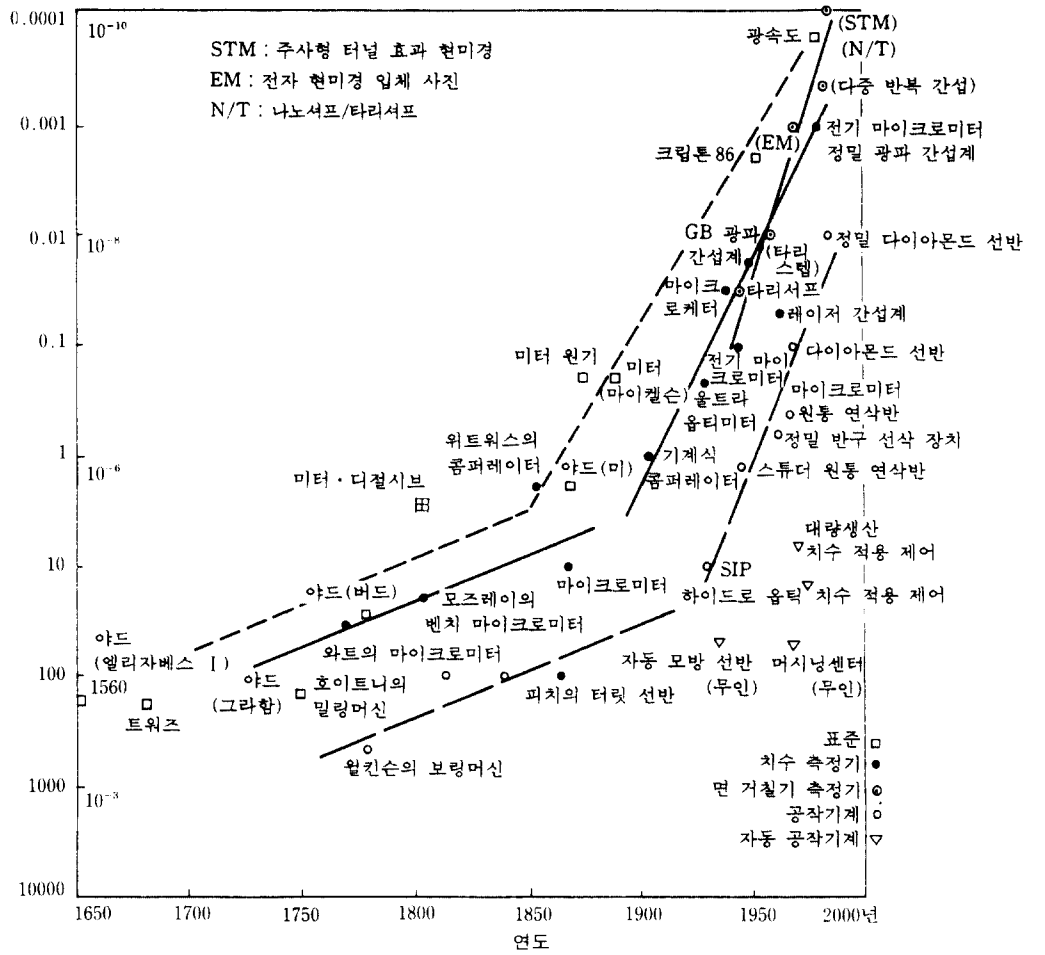

그림 1 측정정밀도의 변천

였다.

자동화 측정 및 검사란 센서 시스템을 부착하여 가공물의 공정검사는 물론 생산기계, 운송설비 및 저장설비를 측정, 검사하는 것을 의미한다. 이러한 자동 측정 검사는 근본적으로는 제품의 품질을 유지하기 위하여 시행하는 것으로서 우선 가공 대상물의 품질 유지를 위한 검사가 주목적이며, 그 생산설비의 성능 유지, 감시 또한 품질 유지의 주요한 요소 가운데 하나이다.

가공 대상물에 대한 측정은 대상물의 치수, 형상, 가공량, 표면조도, 종류, 재료, 위치, 방향, 갯수 등이다. 가공물의 측정이 정확히 감지되어야만 후속 연결되는 작업과정인 가공, 재가공, 조립, gripping, handling, 고정, 물류, 이동 등이 자동화될 수 있게 된다.

생산설비인 가공기계, 공구, 운송장치 및 산업용 로봇 등의 속도, 온도, 부하, 마모량, 현위치, 상대위치 등도 자동화 측정의 대상이 된다.

이글에서는 측정의 자동화 대상, 측정 자동화 순서, 길이, 형상 측정 관련 센서 시스템 및 자동 측정장비를 소개하였다.

표 1 인간의 기능과 대체 상품

인간의 감각기	기 능 (역 할)	대 체 상 품
눈	· 측정기의 눈금 판독(센서) (길이, 각도, 위치)	디지털 마이크로미터, 리니어스케일, 로터리엔코더
머리	· 눈으로부터 측정치를 받는다 · 측정치의 기억 · 측정물의 위치 판정 · 손에 측정물 운반 명령 · 운반 확인 · 측정치의 기록 명령 · 다음 측정준비	대형 컴퓨터 미니 컴퓨터 마이크로 컴퓨터
양손	· 측정물의 운반 · 측정기의 조작 · 측정물의 고정 · 측정 데이터 기록 · 측정준비 동작	서보 구동장치(고정 및 상대운동) Loading 장치 Unloading 장치

2. 자동 측정의 대상

자동화된 공장에서 센서 시스템을 이용한 측정, 검사 및 감시의 대상은 크게 생산가공물과 생산설비로 구분될 수 있으며, 검사 내용은 다음과 같다.

2.1 생산가공 대상물

2.1.1 가공량의 측정

가공량의 측정은 자동 생산 시스템에서 가장 중요한 감지 내용이며, 공작기계 안에서 접촉 프로브(probe)를 교환공구로 장착하여 이용하는(on the machine) 방법과 설치된 비접촉 센서 시스템을 이용, 가공 도중 측정하는(in process) 방법과 가공 후 측정 전용 장비에서 검사하는(post process) 방법 등이 있다.

측정방법은 정적측정과 동적측정이 있으며, 측정대상은 다음과 같다.

○정적측정 : 외경, 내경, 길이, 폭, 단차, 틈새, 두께, 위치, 각도, 지름, 테이퍼 등

○동적측정 : 진원도, 진동, 원통도, 편심 등 치수와 위치 등 길이에 관련된 측정이 대부분이다.

그밖에 중량, 경도, 홈, 공기와 기름의 누설, 조립 발란스 토크, 회전수, 전류, 전압, 온도 등 여러가지 분야가 있다. 한편, 길이 측정의 경우, 자동화 측정의 주 대상은 미소 변위의 측정과 긴 길이의 직접측정이다.

2.1.2 가공물 위치 및 방향의 측정

물체 위치 및 방향의 측정 결과는 연결 후 속되는 작업, 예를 들면 gripping, handling, 고정, 가공의 정확성을 보증하기 위하여 필요로 한다. Vision system 등 광학적 측정장비나 다접점 접촉센서 등이 대상물의 위치와 방향을 감지할 수 있다. 생산라인의 요소별로 설치된 code 판독기 등을 활용하여 대상물의 통과 시간을 파악하여 생산관리에 필요로 하는 물류이동을 감시한다.

2.1.3 가공물의 종류

가공물 종류 파악은 다품종 소량생산 체제

에서 각 생산설비가 특정 종류의 가공물에 지정된 가공공정을 자동적으로 거치도록 하기 위해서 제품종류 인식센서가 반드시 연결 사용된다. 체계적으로 분류 coding하여 자동 판독하는 방법과 센서를 이용하여 직접 형상의 특징을 파악하여 종류를 구분하는 방법이 있다.

2.1.4 갯수 측정

물체 갯수의 측정방법은 근접센서를 이용하여 통과시의 펄스 숫자를 세는 방법, load cell을 사용하여 전체 무게 측정법, 누적된 경우 높이를 측정하는 센서장치를 활용하는 방법 등이 있다.

2.1.5 표면거칠기(조도)

가공물 표면거칠기 측정은 정밀 부품인 경우에 샘플링(sampling) 또는 전수검사를 하여 가공 공구의 마모와 이상을 추정 파악하며 공구를 교환하도록 정보를 제공한다.

2.1.6 재료 검사

재료 검사의 자동화는 각종 재료 시험기의 자동화 생산라인의 입구에서 진입되는 원재료의 이물질, 결합 등을 탐지할 수 있는 검사장치를 설치 자동화하는 경우 등이 있다.

2.1.7 제품의 성능검사

제품의 성능검사는 요구되는 주요 성능의 특성에 따라 적절한 센서장치와 신호처리장치를 개발하여 검사 유닛(unit)으로 현장에 적용한다.

2.2 생산설비

(1) 공작기계의 정밀도, 부하, 속도, 온도, 고장상태
(2) 공구의 종류, 형상, 사용시간, 마모량
(3) 산업용 로봇의 상대위치, 절대위치, 부하에 의한 팔(arm)의 처짐량, gripper내에 물체의 존재확인
(4) 운송시스템상의 물체 이동량, 버퍼에 저장된 가공물 갯수, 특정지점에 도착 사실 여부, 무인 운반차의 공장내의 현위치, 팔레트의 code 번호 판독

3. 측정의 자동화 순서

표 2에 정밀측정의 자동화 순서도를 도시하였다.[2]

4. 자동화용 센서 시스템

일반적으로 생산 자동화 측정용 센서의 최종 출력 형태는 전기적인 양으로 나타나며, 대상물과 센서의 출력 방식에 따라 그림 2와 같이 아날로그, 디지털 방식으로 분류된다. 또한 작동 원리에 따라 전자기 유도식, 광전자식, 초음파식, 공압식, 전기용량식 및 전기 저항식으로 분류된다.

4.1 온 오프식 터치 센서

그림 3과 같이 레니쇼사 프로브로 대표되는 접촉식 센서로서 선단의 접촉자가 측정물에 닿아 미소하게 움직여지는 것으로 상부전기 접점의 상태에 따라 전기 신호를 발생하도록 한 것이다. 감출 방향은 제품에 따라 1방향, 2방향, 3방향으로 구별되고 NC 공작기계에서의 가공물이나 공구 위치 검출, 3차원 좌표 측정기에서의 측정자 역할로 많이 사용된다. 성능은 접근 방향·속도에 따라 차이가 있을 수 있어 주의가 필요하며 반복정밀도는 수 μm에서 1 μm 이하까지가 있고 변동량(pre-travel variation)은 수 μm 이하이다.

4.2 광학식 리니어 스케일

광학식 리니어 스케일(엔코더)은 유리를 사용하는 투과형과 금속재질을 사용하는 반사형이 있고 투과형이 대중화되고 있으며 이는 스케일식과 모아레 무늬식이 있다. 광학

표 2 측정의 자동화 순서도

흐 름 도(순서)		설 명
선택	측 정 대 상 물	1. User의 사양, 요구 정도의 파악 2. 길이, 각도, 평면, 위치 등의 측정방법 선택
	측 정 방 법 선 정	1. User의 사양, 요구 정도를 만족하는 측정방법 선정 2. 검출기기-위치결정-데이터처리-정도계산을 순차적 검토 후 측정방법 선택
측정계획수립	검 출 기 기 결 정	1. 길이 — 디지마이크로, 리니어 스케일 2. 각도 — 로터리엔코더 3. 위치 — 접촉센서 등으로부터 검출기기를 선택한다.
	위치결정방식선정	1. 측정물의 반입, 착탈 2. 검출기기의 운동(이동) 등의 위치결정, 서보구동
	데 이 터 처 리 결 정	1. 위치결정을 위한 입력(ex: key board) 2. 측정치의 출력(ex: printer) 3. 측정치의 계산(ex: 컴퓨터)
	정 확 도 계 산	1. 검출기기에 의한 오차 2. 위치결정에 따른 오차 3. 측정법에 따른 오차 등으로부터의 오차 계산에 따른 정도 계산
설계	개 념 설 계 세 부 설 계	1. User의 사양, 요구 정도 2. 계획 결정한 측정법에 근거로 하여 기계 및 전기의 설계
제작	제작·조립및조성	

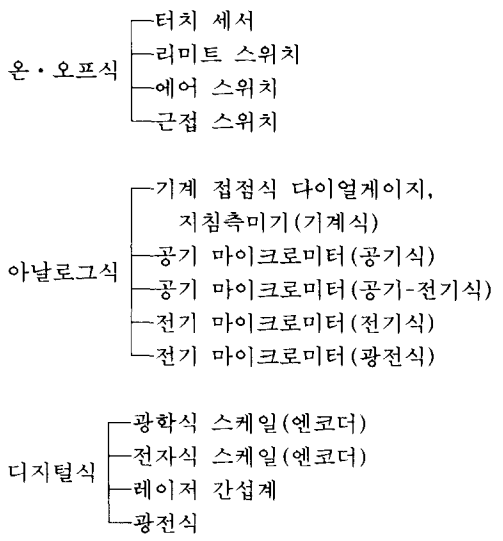

그림 2 생산가공측정용 센서의 분류

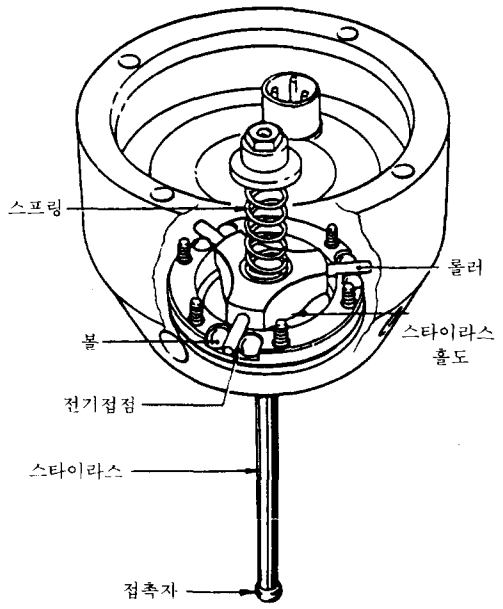

그림 3 레니쇼오사 터치센서

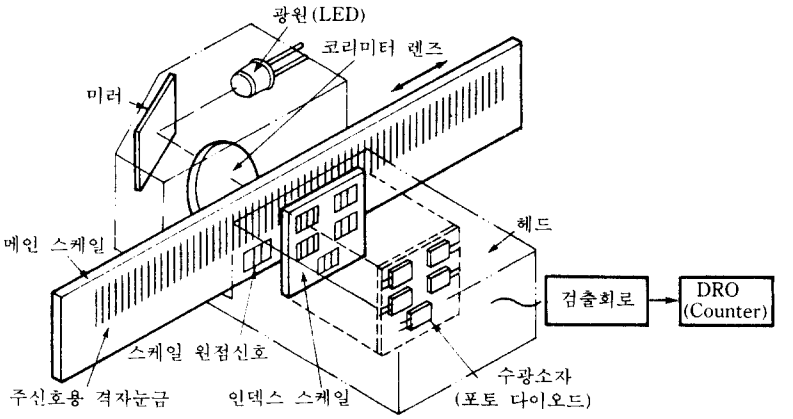

그림 4 광학식 리니어 스케일 구조

식 리니어 스케일은 자기식이나 전자유도식에 비해 정밀도, 내구성, 내환경성이 우수하다.

작동원리는 그림 4와 같이 유리스케일(메인 및 인덱스), 광원(LED) 및 투과한 빛을 검지하는 포토 다이오드로 구성되며 인덱스 스케일이 고정되고 유리 위에 크롬을 증착시켜 8~40μm 피치로 된 메인스케일이 이동하면 광량이 변화하고 이것을 포토다이오드로 검출하여 명암에 따라 변하는 전기량을 얻고, 그 신호파형을 정형하여 카운트하는 것으로 변화량에 대응한 수치를 얻는 것이다.

실제로는 위상차를 갖는 포토다이오드 A, B, A, B의 4개를 이용하여 각종의 처리가 이루어지고 참조위치점(reference mark)이 검출된다. 구형파를 배타 논리합(E_x-OR)을 이용하여 기준 피치에 대해 분해능을 얻는 과정이 보편적이고 이 분해능에 따라 10 μm ~0.1 μm의 제품이 상용화되고 있고 고정밀 제품으로는 20 nm인 것도 있다.

4.3 로터리 엔코더

각도 측정용 각도(회전) 센서는 그림 5와 같이 검출대상, 검출범위, 검출수단에 따라 분류될 수 있으며 로터리 엔코더(Rotary encoder)는 회전 각도를 재는 디지털 측정기로써 회전량만큼의 펄스 신호를 얻어 계산하는 증분형(인크리멘탈형: Incremental)과 원판에 부호를 새겨두고 회전축이 멈출 때 그 부호를 읽어 각도 위치를 판단하는 절대형(앱설루트형: Absolute)이 있으며 NC 공작기계의 위치검출기로써 활용되고 있다. 인크리멘탈형 로터리 엔코더 원리는 그림 6와 같

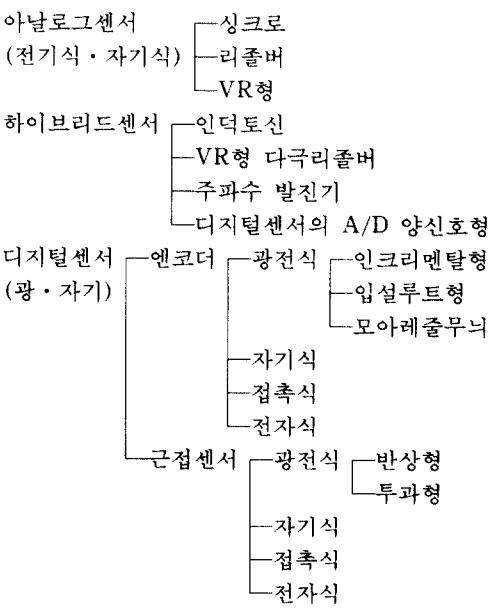

그림 5 각도 센서의 분류

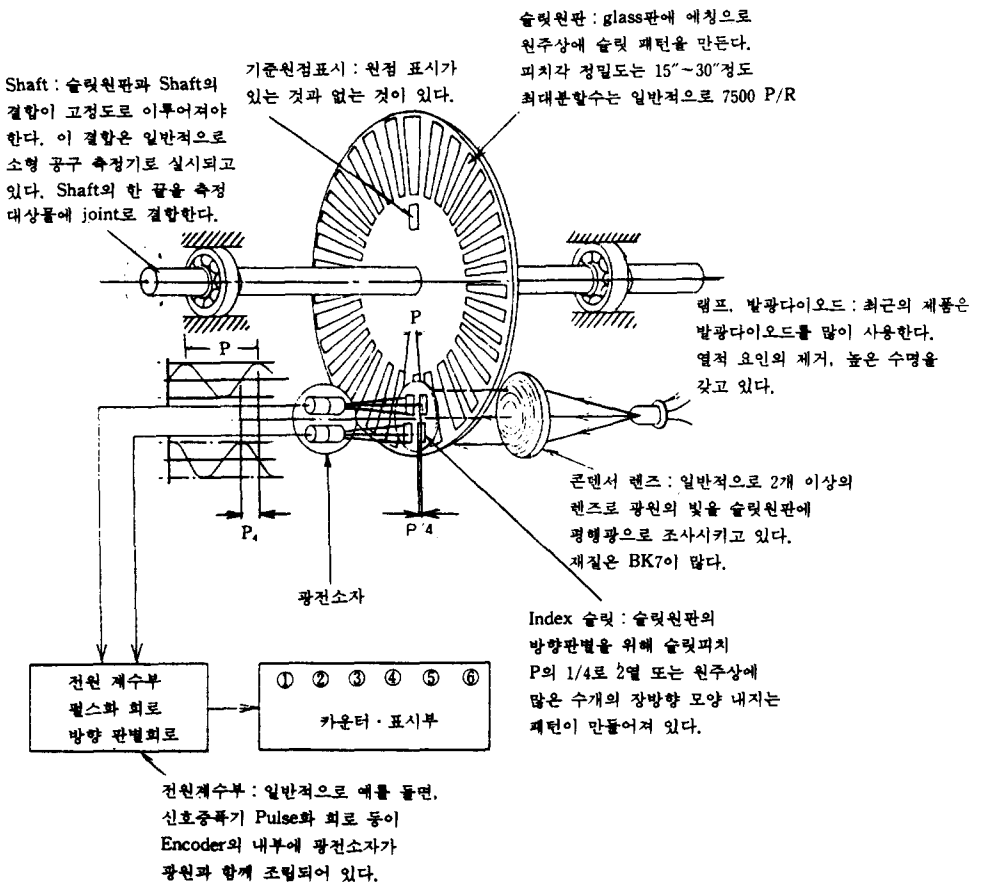

그림 6 인크리멘탈 로터리 엔코더

고 앱설루트형 로터리 엔코더는 그림 7와 같이 방사상으로 수백 내지 수천 등분된 디스크 원판의 BCD 부호를 판독하여 각도를 검출한다.

출력 펄스수는 100~5,000 펄스가 보통이고 최고 432,000펄스까지도 가능하며 분해능을 높이는 데는 공기베어링 등의 초정밀 기구부, 레이저빔, 정밀제어 기술의 발전 및 에칭 기술, 고분해 원주 분할기의 개발이 선행되어야 한다.

4.4 레이저 간섭계

레이저광의 특성을 이용한 길이 측정 방식은 0.01 μm의 분해능이 이룩되어 초정밀 측정이 가능하게 되었다. 디지털 출력에 의해 컴퓨터 및 각종 표시기, 제어기 등과 연결되어 초정밀 자동 측정 시스템으로서 효율성이 매우 높다. 레이저(LASER: Light Amplification by Simulated Emission of Radiation)는 임의의 두 위치에서의 전계의 변화를 측정한 후, 임의의 시간이 지난 후에 한 위치의 전계를 측정하면 다른 위치의 전계를 완벽히 알 수 있는 대단히 높은 규칙성 즉 코히런스(Coherence)를 갖고 있기 때문에 전계강도를 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$E(x, y, z) = A(x, y, z) \cos [\mathrm{wt} + \theta(x, y, z)] \quad (1)$$

그림 7 앱소루트형 로터리 엔코더의 디스크판 패턴 예

여기서, $\theta(x, y, z)$는 공간적으로 변하는 위상이고, 공간의 한 점에서의 전계는 각 주파수 w를 갖고 정현적으로 변한다. 따라서 위치의 함수인 A와 θ를 알면, 임의의 시간 t에서 공간의 모든 점 E를 알 수 있다. 레이저는 이러한 코히런스가 다른 광파에 비해 매우 크므로 단일 주파수로 구성되는 단색광(monochromaticity), 지향성(directionality) 및 휘도[brightness : 단위 입체각(sterad)에서 나오는 빛의 출력밀도(W/m^2 또는 lumens/m^2)]가 뛰어나는 특성을 갖고 있다.

레이저 간섭계 구성은 그림 8과 같이 광원(laser source), 간섭계(interferometer) 및 반사경[reflector 또는 코너큐브(coner cube) 프리즘]으로 되어 있고 광원은 주로 차가 3 MHz 와 f_1과 f_2로 구성된 He - Ne 레이저를 사용한다.[3] 길이 측정 원리는 그림 8과 같이 반사경이 이동함에 따라 되돌아오는 f_1의 빛은 도플러 효과에 의해 이동방향과 속도에 의존하여 주파수가 식 (2)로 되고 이 Δf_1을 적분하면 반사경의 이동거리가 파장 λ의 함수로 나타난다.

$$f = f_1(1 \pm V/C) = f_1 \pm \Delta f_1 \qquad (2)$$

이 때 측정리시버내의 포토디텍터가 이러한 신호 f_2, $f_1 \pm \Delta f_1$을 검출하여 전기신호로 변환하고 기준빔 스플리터로 분할된 레이저광의 일부는 참조 신호를 만들어내기 위해 f_1, f_2가 전기신호로 바뀐 후 앰프에서 f_2-($f_1 \pm \Delta f_1$)과 참조 주파수 f_2-f_1을 나누어 최후로 펄스 컨버터가 이 두 신호에서 Δf_1을 받아 $\lambda/4$ 파장의 작용으로 1펄스를 출력하게 된

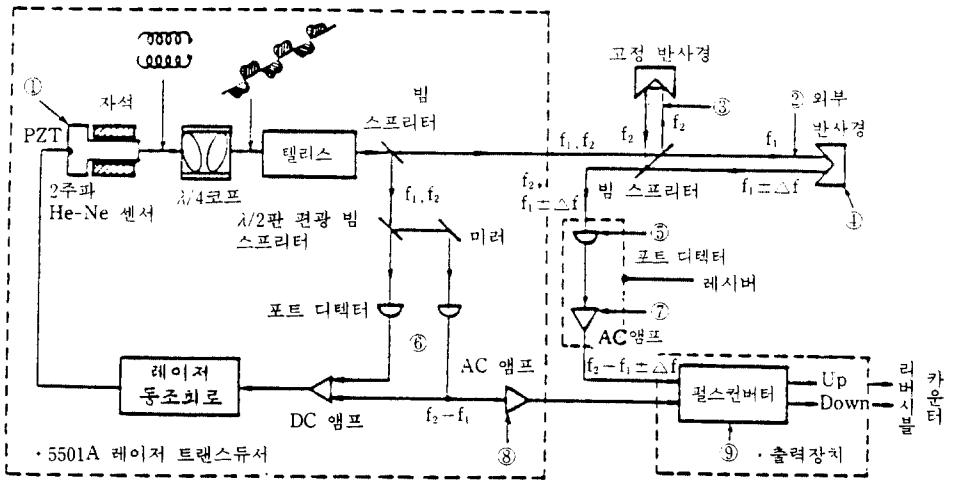

그림 8 레이저 간섭계 원리도

다. 이러한 방식에 의해 고분해능 및 고정밀 측정이 가능하다. 한편 이 방법 외에 빔 변조법, 반사 펄스법 등이 있는데 이것들을 이용하면 수백만 km까지의 거리 측정도 가능하다.

4.5 차동변압기식 전기 마이크로미터 (LVDT)

LVDT는 그림 9와 같이 1차코일, 2개의 2차코일, 코어(철심)로 구성되고 상호유도 현상을 이용하여 직선변위를 측정하는 센서이다. 1차코일에 3~15V, 60~20,000Hz의 정현파가 가진되면 2차코일에는 같은 주파수의 정현파가 유기된다.

이때 정현파의 진폭은 코어의 위치에 따라 변한다. 2차코일이 반대 방향으로 직렬로 연결되어 있으면 Null position($Xi=0$)에서의 출력은 0이 된다. Null position에서 코어가 벗어나면 2차코일의 한쪽은 유도전압이 증가하고 다른 한쪽은 감소한다. 이러한 전압차는 Null position에 대한 상대위치와 거의 선형적인 관계를 갖는다. 그러므로 이 두 전압의 차를 측정하여 코어의 위치를 측정할 수 있다.

LVDT의 측정 범위는 ±2mm~±200mm이다. 전체 측정 범위에 대해서 선형성은 0.25~7%이다. 이것은 측정 범위가 좁으면 분해능이 0.1μm 이하로 되므로 정밀측정에 많이 사용되고 있다.

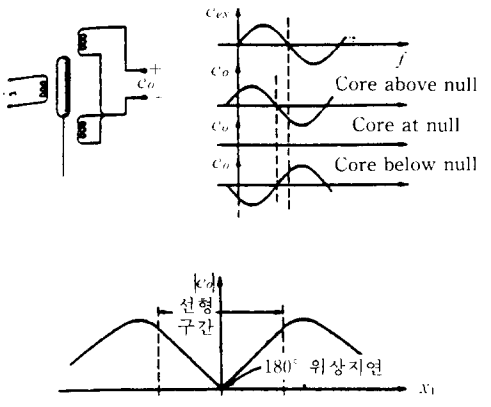

그림 9 LVDT의 기본원리

4.6 기타 센서류

이상에서 측정용 주요 센서를 간단히 소개하였고 기타의 센서류를 소개하고자 한다. 표 3에서의 분류 외에 길이 측정용 센서는 검출대상에 따라 길이, 두께(coating 두께 포함), 변위 및 변형, 폭, 표면거칠기 등으로 분류할 수 있고 측정범위에 따라 장거리, 일반길이, 미소길이 측정용으로 분류할 수 있다.

물리적인 검출 수단에 따라 전기식은 가변 콘덴서의 정전용량 변화를 이용한 변위 센서인 정전용량계(capacitance 형), 인덕터스식(inductance), 스트레인 게이지식(strain gage), 와전류에 의한 신호검출을 하는 와전류식(eddy-current) 및 저항식 포텐셔미터 등이 있다. 자기식은 차동트랜스식, 양자홀 소자, 전자기 유도식 두께 측정용이 있고 광학식은 광파 측거기, 레이저 스캐너, 레이저 프로브 및 엘립소 미터 등이 있다. 그외 방사선을 이용한 X선식 도금두께 측정기, 선후방 산란식, 초음파를 이용한 거리측정기, 두께 측정기 등도 있으며 압력에 의한 변위 센서인 피에조 변환기도 있다.

5. 길이, 형상 측정장비

앞장에서 기술된 센서류를 활용한 검사 공정 자동화를 위하여 개발된 자동측정 장비는 그 측정 내용에 따라 다양하고 대상물의 측정종류, 범위, 정밀도, 시간, 결과치 활용목적에 따라 적절히 이용되어야 하는 것이 중요하다.

광학식 형상 측정 장비로는 CNC형 공구현미경(tool microscope), 윤곽투영기(profile projector) 등이 있고 레이저를 응용한 장비로는 표면조도 측정기, 레이저 프

로브 3차원 좌표 측정기, 유속 측정기, 간섭무늬 해석 형상 측정기 등이 있다. 또한 기계식(전기식) 으로 널리 사용되고 있는 레이아웃 머신(Layout Machine) 그리고 전형적인 3차원 좌표 측정기(CMM) 및 측정용 로보트 등이 있다. 여기서는 이들 주요 형상 측정 장비 중 3차원 좌표측정기에 대해 소개하고자 한다.

5.1 3차원 좌표 측정기

3차원 좌표 측정기(CMM: Coordinate Measuring Machine)는 1959년 영국 Ferranti사에 의해 최초로 개발되었고, 70년대 이후 본격적으로 상품화되어 현재 전 세계적으로 널리 활용되고 있는 측정 장비이다. 구성은 3축 이송부, 베어링(공기베어링), 구동부, 콘트롤러, 위치검출장치(스케일 등), 감지프로브 및 소프트웨어로 되어 있다.

구조에 따른 분류 방식으로(ANSI B89.1.12M 기준) 브릿지 이동형, 브릿지 고정형, 고정 캔틸레버형, 갠트리형, 컬럼형 및 수평형으로 분류되며 브릿지 이동형이 가장 보편적으로 사용된다. (그림 10 참조)

작동방식에 따라 메뉴얼형, 모터드라이브형(조이스틱형) 및 CNC형으로도 분류되며, 감지 프로브에 따라 접촉식, 비접촉식으로도 분류된다.

구조적 특성으로는 정밀가공(랩핑)이 용이하고 열팽창계수가 작은 그래나이트로 이송안내면화하여 진직도(straightness)를 보장하고 부하능력(load capacity) 및 강성[stiffness(λ) : 틈새변화당 하중변화(kg/μm]이 큰 공기베어링을 사용하여 안정성이 높다. 최근에는 고안정성 다공질 공기베어링을 많이 사용하는 추세이다. 브릿지 구조(Y축)는 저중량·고강성(high rigidity)화되어 서보 위치제어(1~0.1μm: 스케일 분해능)가 용이하고 이송시 Y축 아베오차(Yaw 또는 Pitch 운동에 의한)가 적다. 전체적으로는 3차원 좌표측정기 자연 주파수(ωn)가 높아져

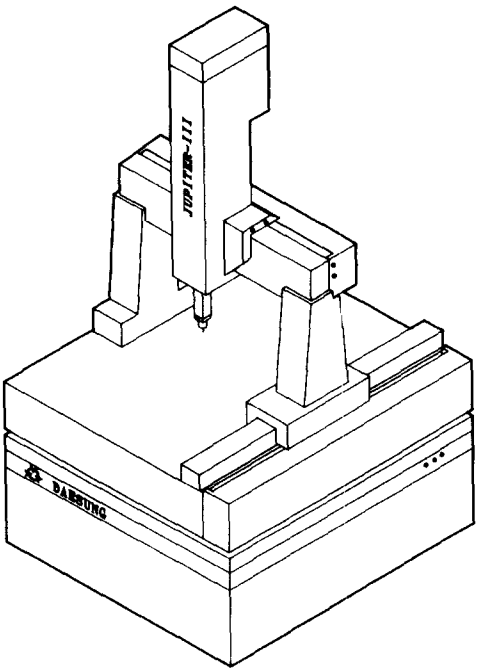

그림 10 3차원 좌표 측정기 구조도

현장에서 발생하는 자연주파수(1~20Hz) 범위를 벗어나 공진(resonance)을 피할 수 있다. 3차원 좌표 측정기는 공간상 진직도 straightness), 직각도(squareness), 회전오차(Pitch, Yaw, Roll) 및 위치 정확도 등 21종류의 오차를 포함하고 있기에 이것의 측정 및 교정이 중요하다. 따라서 세계적으로 독일의 VDI/VDE 2617, CMM 제조자 협회(CMMA), 미국 ANSI/ASME B89, JIS 및 BS 규격 등이 제정, 이용하고 있고 대개 위치정확도는 1축 측정정밀도(U_1), 공간정밀도(U_3)로 구분되고 측정방식은 스텝게이지 또는 레이저 간섭계(laser interferometer)에 의해 일정간격을 반복 측정하여 산출된다.[4] 반복정밀도(repeatability)는 표준구(Master ball)를 이용하거나 위치정확도 측정 결과에서 $\pm 3\sigma$를 택하여 최대 폭(band width)을 산출한다. 현재 대체적으로 1000 mm 기준하여 5μm 내외의 오차를 갖는 제

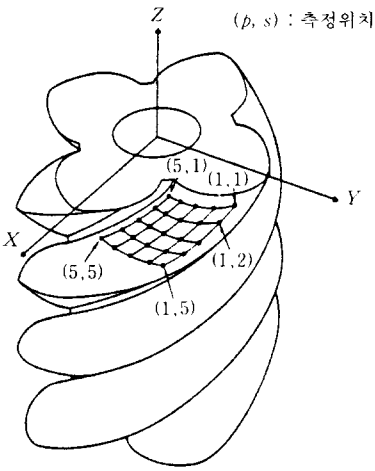

그림 11 나사의 비틀림면 측정

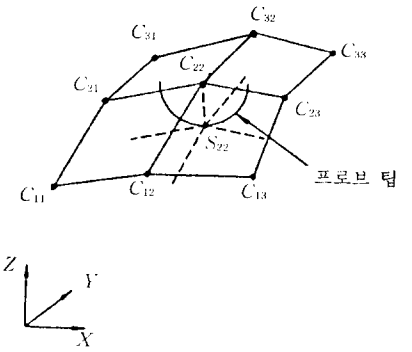

그림 12 법선백터 계산(3차원 반경 보정)

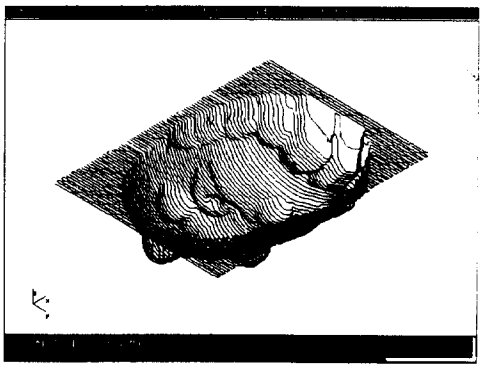

그림 13 3차원 좌표 측정기 디지타이징 기능

품이 많이 사용되고 있고 메이커에 따라 수 μm 이하 오차를 갖는 제품들이 있다.

기능적인 측면에서는 CNC 형이 보편화되어 효율성이 높아졌고 기본적으로는 단시간 측정기능, 복잡한 형상의 효율적 측정 기능, 고신뢰성 기능, CAD/CAM S/W와의 인터페이스 기능 및 나아가서는 통합적 CAT 기능이 요구되고 있다. 복잡한 형상은 터빈 블레이드나 특수기어 및 나사의 비틀림면이 대표적인 예이고, 그림 11은 나선형 형상을 측정하는 것을 나타내고 있다. 이때 측정 포인트는 프로브 반경의 중심이기 때문에 그림 12와 같이 중심궤적에 대해 인접한 4개의 평면의 법선벡터를 구한 후 대수평균을 취함으로써 실 표면점 좌표를 산출하는 3차원 반경 보정 과정을 수행하여야 한다. 따라서 금형산업에 활용되는 자유곡면 형상을 측정하기 위해 일정 간격에 따라 자동으로 표면 형상을 측정해 주는 디지타이징 기능(그림 13 참조)도 3차원 반경 보정이 필수적이며 나아가서는 CAD/CAM S/W와 인터페이스 됨으로써 CNC 가공을 가능하게 한다. (그림 14 참조)

일반적으로 3차원 좌표 측정기의 측정 방식이 단순 학습(teaching) 기능을 벗어나 상용화된 CAD 시스템과 인터페이스되어 CAD 데이터베이스를 활용하는 것이 시도되고 있다. 즉 변환을 위한 표준형식으로 IGES (Initial Graphics Exchange Specification)가 일반화되었으며 독일에서는 VDA(Verband Der Automobilindustrie) 데이터 통신 인터페이스를 사용하기도 한다. 최근에는 ANSI 규격으로 제정된 DMIS(Dimensional Measuring Interface Standard)가 새로운 표준형식으로 대두되고 있다. 아울러 3차원 좌표 측정기용으로 작성된 자동 측정 프로그램이 대개 CNC 제어 프로그램으로 직접 사용될 수 없기 때문에 제어프로그램으로 변환하기 위한 표준형식이 필요한데 CMM 제조업체

협회인 CMMA에서 제정한 NDF(nentral data file)가 사용되고 있다.[5]

3차원 좌표 측정기의 궁극적인 목적은 측정의 효율화를 통해 생산성 향상을 극대화 시키는데 있다. 지금까지는 생산현장에서 분리된 측정·검사실내에서 오프라인적 이용범

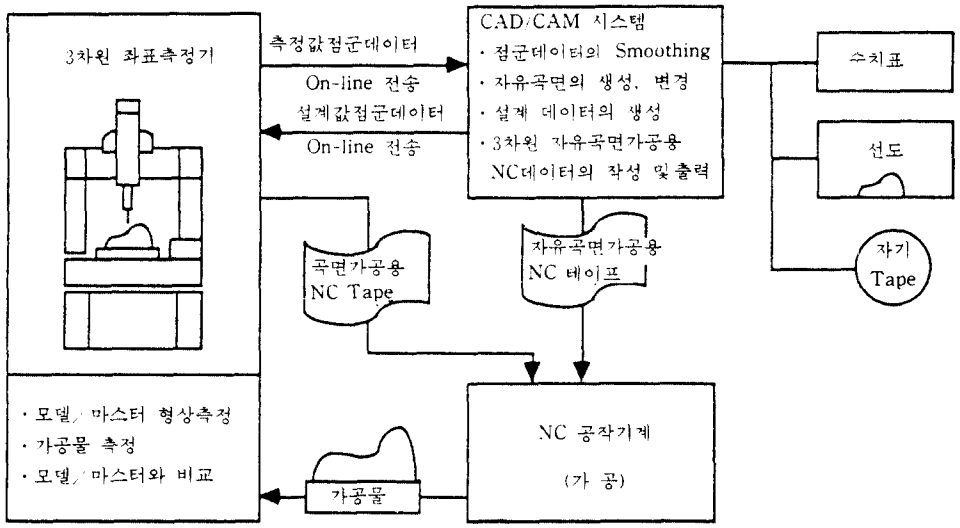

그림 14 3차원 좌표 측정기와 CAD/CAM 인터페이스 예

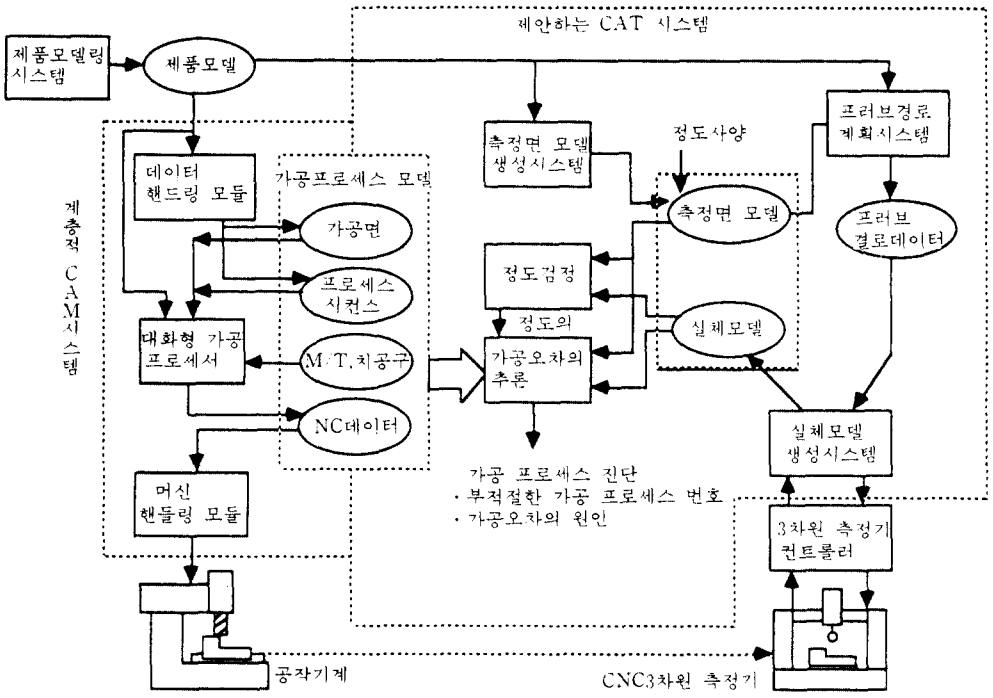

그림 15 CAD/CAM/CAT 통합화 시스템

주에 머물러 있어 현장 공정 관리의 응답속도가 지연돼 낭비 요소가 되고 있다. 이를 개선하기 위해 FMS 등의 도입에 의한 공장 자동화 추세에 부응해 3차원 좌표 측정기가 생산현장(요소)에 배치되어 온라인 측정을 가능하게 하는 역할이 시도되고 있다. 이를 위해서는 측정데이터 업로딩, 측정 NC 데이터 다운로딩, 프로그램 NO. 검색, 정밀도 자기진단 및 자기보정 기능이 선행되어야 한다.

향후에는 CAD/CAM 시스템과 CAT 시스템이 통합화되어 3차원 좌표 측정기가 측정 및 가공 업무에 피이드백할 수 있을 것으로 전망되고 있다. 그림 15는 CAD/CAM/CAT 통합화 시스템의 예를 보여준다.[6] 즉 CAD 시스템에서 정의된 형상모델에 대해 CAM 시스템에서는 가공면 생성, 가공기준면 지정, 가공순서 결정, 공구 선택 및 공구 경로가 생성되며 이때 CAT에서는 사용될 측정면 모델이 구해지며 이 측정면의 생성부, 측정항목 검증부, 실체 모델 생성부, 측정경로 기획부 및 가공오차 원인 추론부들이 구성되어 있다. 따라서 실체 모델과 측정면 모델의 비교로 부적합 공정의 가공오차 요인이 추론되어 다시 가공공정에 온라인으로 피이드백됨으로써 생산성 향상을 극대화할 수 있다.

6. 맺음말

이상에서 본 바와 같이 측정기술과 자동화 기술은 그 시대의 정밀가공 및 설계기술과 같은 수준에서 진보되고 있고 컴퓨터 응용기술, 전자·반도체 응용기술, 신소재 기술에 힘입어 급속도로 발전하고 있다. 이글에서 소개된 길이 및 형상 측정 관련 각종 센서류, 자동측정장비도 최근 현장에서 널리 활용되고 있지만, 생산, 제조, 개발, 시험 등 사용분야를 명확히 하여야 측정의 자동화 수준을 명확히 결정할 수 있으며, 분해능·정밀도와 같은 측정 수준을 구체화하여야만 적합한 측정시스템을 선정할 수 있을 것이다.

참고문헌

(1) 박준호, 1991, "정밀측정 방법 및 측정 자동화," 초정밀가공기술 세미나, 한국공업표준협회, pp. 88~111.

(2) 박준호, 1993, "정밀측정 시스템 공학," 야정문화사, p. 131, p. 135.

(3) Hocken, R. J., 1979, "Lasers for Dimensional Measurement," *Annals of the Cirp*, Vol. 28, No. 1, pp. 303~306.

(4) 1978, "A Proposal for Defining and Specifying the Dimensional Uncertainty of Multi-Axis Measuring Machine," Working Party on 3DU, *Annals of Cirp*, Vol. 27, No. 2, pp. 623~630.

(5) 竹内芳美, 1988, "三次元 座標 測定機と CAD/CAM," 器械と 工具, 10月號, pp. 18~24.

(6) 中村哲夫, 1988, "FAに おける CNC 三次元測定 システム," 精密工學會誌, Vol. 54, No. 4, pp. 633~637.