

CMM과 In-line 측정에서의 응용기술



김 두 형
(KIMM 자동화연구부)

'82 서울공대 기계설계학과(학사)
'90 KAIST 생산공학과(석사)
'82-현재 한국기계연구원 선임연구원



이 재 종
(KIMM 자동화연구부)

'85 전북대학교 정밀공학과(학사)
'87 KAIST 생산공학과(석사)
'87-현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

최근 제조업에 있어서 CIM(Computer Integrated Manufacturing)에 대한 관심이 고조되고 있다. CIM의 개념은 1970년대 후반 미국에서 제창된 이래, 주로 생산시스템과 생산관리시스템의 효율적 운용을 위한 정보시스템의 확립에 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 제품에 대한 user 요구의 다양화, 제품의 개성화에 의한 시장의 분화현상 및 제품 life cycle의 단명화, 제품개발·생산의 고속화에 따른 제조업의 환경에 대처하기 위해서는, 새로운 기업경영의 전략을 위한 종합적인 의미로서의 CIM의 역할을 고려할 필요가 있다. 즉 새로운 생산기법의 구축과 연구개발 및 판매 관리를 종합한 궁극적인 경영전략의 실현이 필요하다.

또한 FA화의 진전과 까다로운 품질관리의 요구에 부응하기 위해서는 제조부품의 측정공정에 있어서도 자동화 및 시스템화가 필연적이다. 여기서의 생산 line의 측정, 검사의 자동화는 단순히 제품의 양, 불량만을 판정하는 것만이 아니라, 공작물의 고정도화와 다양화의 요구에 부응하기 위하여 측정의 대상이 제품의 양부 판정에서 생산시스템의 양부 판정과 시스템의 공정능력을 파악하기 위한 측정으로 변환되어야 한다. 즉 가공된 제품의 측정결과로서 그 생산·가공 line의 상태가 정상인지 아닌지를 check하고, 불량품의 발생을 미연에 방지하여야 한다. 따라서 측정의 개소도 종래와 같이 가공의 최종 공정에서 행하는 것이 아니라, 생산·가공 line의 여러 point에서 check 되어야 한다. 따라서 측정 및 검사에서 얻어진 data와 판정결과등의 정보를 직접 가공기에

feedback 한다거나, line 관리용의 host computer에 전달하여 line의 종합적인 진단 및 대책을 수립하게 된다.

2. 측정의 역할

생산시스템에 있어서 측정기능은, 현장 line에 도입되어 있는 전용 자동측정기, 측정공구, 검사 jig 및 공작기계에 내장된 측정기능 또는 line과 분리된 품질보증 부문에 있어서의 정밀 측정기기, 3차원 측정기에 의존해 왔다. 그러나 전술한 바와 같이 생산형태 및 환경이 급변함에 따라 생산현장에는 line에서 사용할 수 있는 범용 측정기에 대한 요구가 발생하고 있고, 현실의 설비계획에서 이에 대한 검토가 점점 이루어지고 있다. 대표적으로 3차원 측정기의 in-line system에의 응용이 그것이다. In-line에서의 범용 측정기의 도입은 2가지 측면을 고려해야 한다. 그 첫번째가 생산기술 및 system engineering의 양면에서의 자동측정기의 도입방법과 운용기술에 대한 고려이다. 이는 종래의 품질보증적인 검사에서 일종의 monitor 역할로서의 도입이며, 따라서 운용에 대한 개념의 전환을 필요로 한다. 두 번째는 정밀측정기가 가지고 있는 설치환경, 즉 온도, 진동 및 먼지로부터의 보호에 대한 사전검토이며, 경우에 따라서는 3차원 측정기의 선정에 철저를 기해야 한다.

CIM의 흐름의 중에서 측정의 자동화는 필요에 의한 소극적 도입에서 생산시스템에 있어서 monitor 역할로서의 적극적 도입으로 변화하고 있다. 즉 3차원 측정기가 가진 sense와 공작기계가 가진 가공기술의 융합에 의한 응용이라 하겠다.

In-line 측정에 있어서 CMM에 대한 요구 및 기대되는 역할과 기능은 여러가지 있으나, 대표적으로는 다음과 같다.

1) 양품, 불량품의 판별

이는 지금까지 검사공정에서 행해지고 있는 내용이다. 단 in-line으로 수행하게 되면 종래보다 빨리 결과를 얻을 수가 있고 불량물의 저감에 큰 효과가있다.

2) 측정 data에 의한 앞 공정에서의 정보제공 앞 공정의 가공공정에 data가 feedback되고, 공

구의 교환시기와 가공깊이의 조정등을 행하게 한다.

3) 측정 data에 의한 후 공정에서의 정보제공
후 공정에서의 data의 feedforward이고 부품의 선별과 조립시의 선택조립을 행하게 한다.

4) 측정 data의 통계처리에 의한 가공기계시스템의 상태파악과 line의 예방보전

수 많은 측정 data를 축적하고 이를 통계처리함에 의해서, 가공기의 상태관리와 line의 감시역할을 하게 한다.

다음 그림 1에서 3차원 측정기의 in-line 측정의 역할을 개념적으로 잘 설명하고 있다.

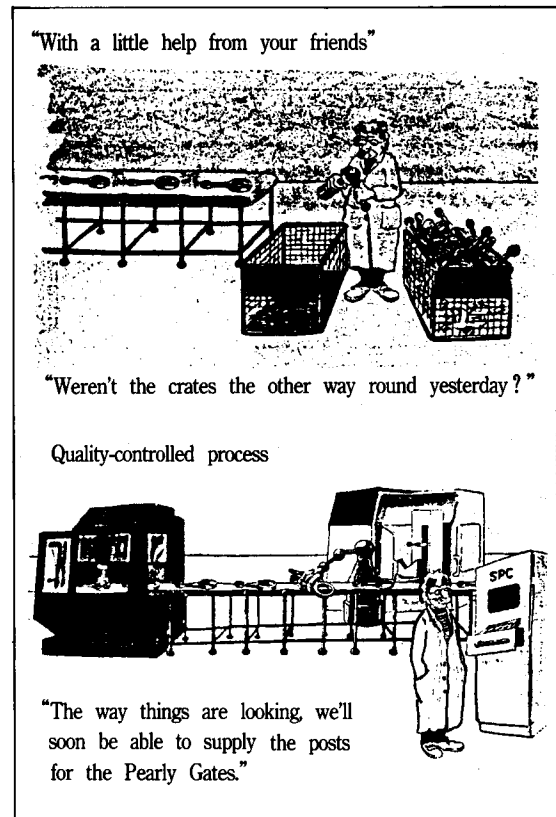


그림 1. In-line 측정에 있어서의 CMM의 역할

3. 3차원 측정기(CMM)

제품가공을 위한 공작기계에 있어서의 NC의 영역은 CAD로서 설계한 기술설계정보(도면, 3차원

형상 model)등이 data base로서 축적되고, 그 정보를 사용하여 NC 가공을 위한 NC data를 작성하고 NC 공작기계로 가공하는 이른바 CAD-CAM-DNC의 종합화가 이루어져 있다. 그러나 생산한 부품이 설계자의 의도대로 형상, 치수공차로 가공되었는지의 여부는 부분적인 검사로서 그 양부를 결정하고 있다. 여기서는 in-line 측정에 필요한 3차원 측정기의 hardware 및 software의 기능을 고려하고자 한다.

3.1 CMM의 역사

기계가공부품에 따라서 좌표측정은 불가결하나 실제로 좌표측정기가 도입된 것은 20세기에 들어서이다. 최초는 2차원 측정으로서 구멍의 pitch 정도가 필요한 시계산업이 그 기원으로 되어 있다. 그 후 기계공업의 발전에 따라 공장내에서의 측정의 필요성, 특히 공구의 치수 및 형상정도가 중요하게 되었다. 1920년에는 3차원 측정기의 형

식을 결정하는 기종(영국의 Feranty사의 모아레스케일식 3차원 측정기)이 시판되었다. 그 후 현재의 CMM의 형식은 1960년 영국에서 개발, 시판되었다.

3.2 CMM의 종류

CMM은 보통 본체, probe, 각 축 이동량의 측정 및 표시장치, 각 축의 구동제어부, computer 및 주변기기, software로 구성되어 있다. 이를 정리해 보면, 구조형태, 조작방식, 측정방법에 의해 각각 분류할 수가 있다.

3.2.1 구조형태에 의한 분류

CMM은 측정대상과 probe의 상대적 3차원 운동을 실현하기 위한 기계구조에서, X, Y, Z 좌표형, 원통좌표형, 구 좌표형, 관절형 등으로 분류된다. 가장 일반적인 X, Y, Z 좌표형에는 그림 2와 같은 형식이 있다.

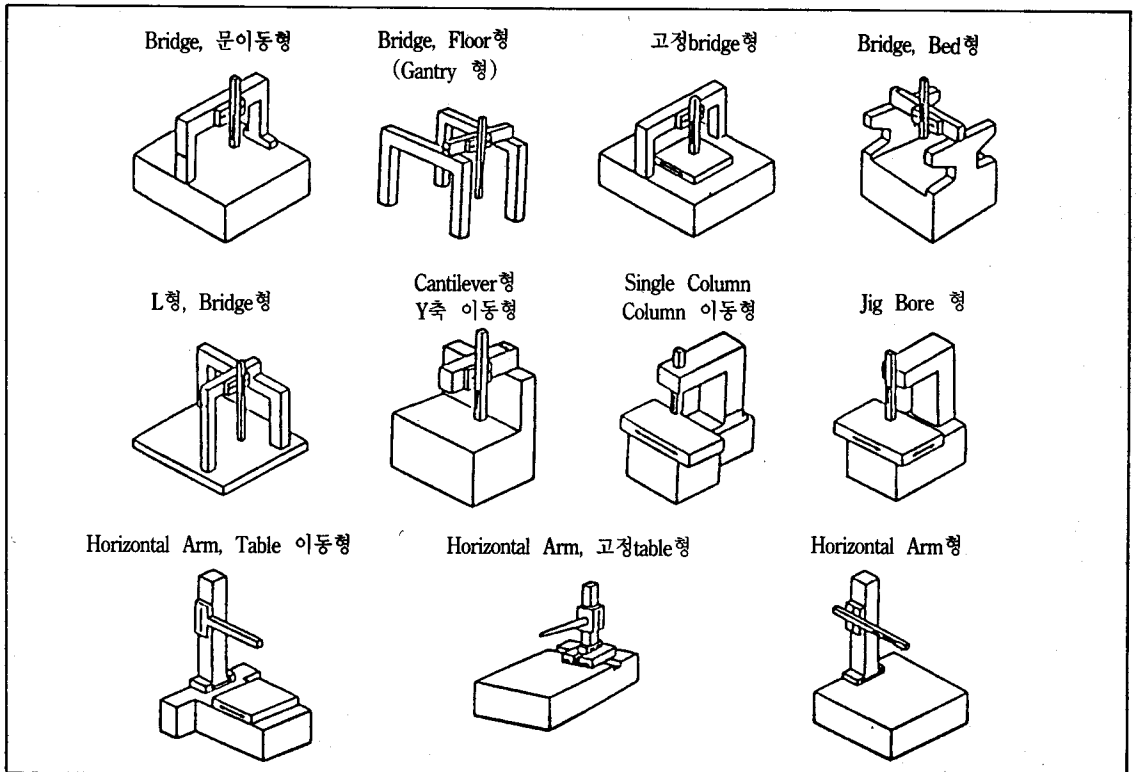


그림 2. 3차원 측정기의 형태

3.2.2 조작방식에 의한 분류

- 1) 수동조작에 의한 측정의 floating 형
- 2) joy stick lever 조작에 의한 측정의 motor driver 형
- 3) computer 지령에 의한 전자동 측정의 CNC 형

최근에는 CNC형이 전체 CMM의 40%를 차지하고 있다.

3.2.3 측정방법에 의한 분류

주로 사용하는 probe의 형태에 따라 다음과 같이 분류할 수가 있다.

- 1) 접촉측정식
 - ① 고정식-Probe 자신은 측정기능을 가지지 않고 manual 식의 CMM에서 구 probe를 측정대상면에 밀어 붙이고 이 때의 CMM 본체의 좌표를 읽어 들인다.
 - ② Touch trigger식-그림 3에서와 같이 probe가 측정면에 접촉하면 3개의 지지 bar 중 어느 하나가 V홈에서 이탈하고 단자간의 저항이 무한대로 된다. 이 순간의 CMM의 좌표를 읽어 들인다.
 - ③ 변위식-그림 4와 같이 평행스프링, 공기압축수동의 직선안내기구를 2차원 또는 3차원으로 조합하고 그 선단에 측정자를 설치하여, 측정면과의 접촉에 의해서 probe와 CMM 본체와의 상대변위를 발생시키고, 이 변위를 차동 trance, linear encoder 등으로 측정하고 이 측정치와 CMM 본체의 좌표치로서 probe 중심의 3차원 좌표를 계산한다.

2) 비 접촉 측정식-현미경식, 광점변위식(3각측량식), 화상처리식

CCD camera 또는 laser 광을 이용하여 측정물에 sensor를 접촉시키지 않고 측정하는 방식이다.

3) 접촉·비 접촉 병용방식

3.3 CMM의 software

CAD의 설계정보를 직접 사용하여 가공한 부품의 치수공차를 평가하기 위해서는 먼저 3차원 측정기의 측정 data 및 측정결과의 평가를 위한

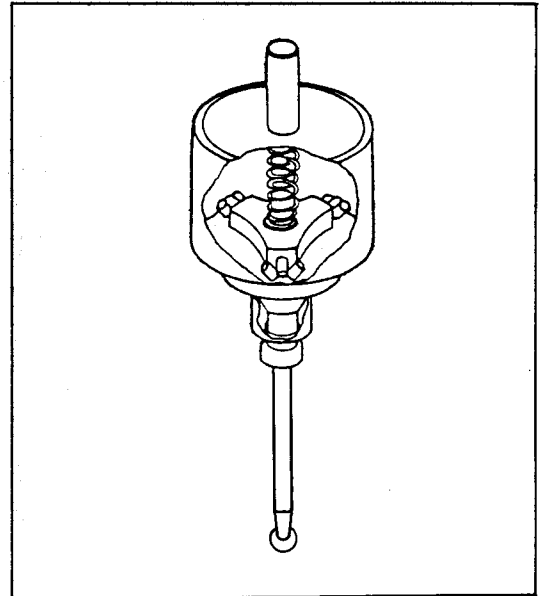


그림 3. Touch Trigger Probe의 구조

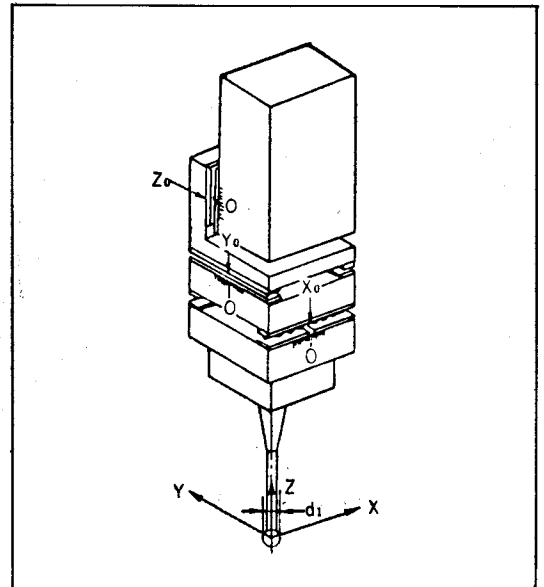


그림 4. 변위식 Probe의 구조

software가 필요하다. 이러한 software중 측정을 위한 기본 software와 off-line teaching을 위한 software를 구분하여 설명한다.

3.3.1 기본 software

CMM에는 data 처리용, data 취득용, 각 축의

구동제어용 등 여러가지 software가 사용된다. 여기서는 data 처리 software에 대한 기본에 대하여 기술한다.

1) 기본형상요소

그림 5는 CMM에 있어서 취급되는 기본 형상 요소와 그 형상을 결정하는 필요한 최소 측정점수이다.









직 선  n=2	원  n=3	타 원  n=5	평 면  n=3
구  n=4	원 통  n=5	원 추  n=6	원 환  n=7

그림 5. 기본형상 요소와 최소결정점수 n

2) 형상의 결정방법

위 그림 5의 최소 결정점수는 그 형상을 결정하기 위한 필요 최저한의 측정 data 갯수이다. 보통 이 측정점 수로서 형상을 결정하면 각 측정 data에 포함된 오차의 영향으로 계산된 형상의 정도는 실제에 비하여 떨어진다. 따라서 보다 많은 점으로서 형상을 결정해야하고, 이를 위한 수법으로 다음과 같은 방법이 사용된다.

① 최소영역법

측정형상을 반경차가 최소로 되도록 동심의 2 원을 그리고, 이를 좁혀 동심 2원의 평균반경을 측정치로 한다. 정의로서는 명쾌하나 측정오차에 영향을 받기 쉽다.

② 최소자승오차법

추정치와 측정치의 차의 제곱의 총합이 최소가 되도록 형상을 결정한다. 측정오차와 측정점수의 변동에 영향을 덜 받는다.

③ 최대내접법

원 등의 경우 측정 data에 내접하는 최대의 원을

형상으로 한다. 예로서 측과 조립되는 구멍의 평가에 유효하고, 최소외접법과 더불어 측정부품의 기능에 밀접하게 관계가 있는 평가법이다.

④ 최소외접법

원 등의 경우 측정 data에 외접하는 최소의 원을 형상으로 한다.

3) 복합계산

전 항의 방법으로 결정된 기본형상의 위치, 치수 및 방향을 사용하여 그림 6과 같이 형상간의 거리, 자세관계, 형상간의 교점, 교선, 형상간의 대칭점 등을 계산하는 software 이다.

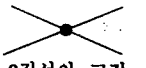
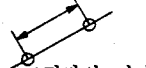
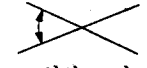
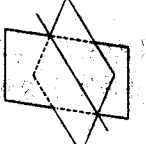
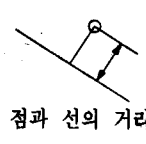



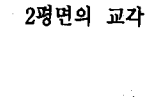
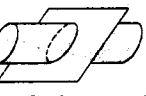
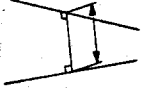
교점, 교선	거 리	각 도
 2직선의 교점	 2점간의 거리	 2선의 교각
 2평면의 교선	 점과 선의 거리	 2평면의 교각
 2원의 교점	 점과 면의 거리	 평면과 직선이 이루는 각
 평면과 원통의 교선	 2선의 거리	

그림 6. 복합계산의 예

3.3.2 Off-line teaching용 software

부품의 형상과 치수공차를 측정하는 CMM은 최근 프로그램이 가능한 CMM이 사용되고 있으나 정확하게 측정 data를 작성한다거나 측정된 결과의 평가판정에 시간이 걸린다. 측정기를 사용하여 측정점을 teaching하는 경우, 그동안 측정검사에 사용하지 못하므로 CMM의 가동율이 떨어지는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 CAD/CAQ의 종합적인 고려가 필요하고, 현재

CMM maker 또는 CAD/CAM software maker에서 CAD/CAQ를 support 할 수 있는 CMM의 off-line programming package 및 측정평가 software를 상품화하고 있다. 그 대표적인 예가 Brown Sharpe사의 CAD Bridge, Mitsutoyo 사의 MCAT, Nikon 사의 T-CAD, 東京精密의 GEM, IBM 사의 Valisys와 Technomatix 사의 ROBCAD/CMM이다. 여기서는 대표적으로 CAQ를 support하는 Valisys와 ROBCAD/CMM에 대하여 설명한다.

1) Valisys(품질관리 프로그램)

Valisys는 제조업에서 제품의 품질향상 및 제조의 각 공정(설계-제조-검사)의 품질향상과 생산성 향상을 위한 프로그램으로서 도면의 검증, CMM의 측정검사 경로의 생성, 측정결과의 해석평가, 통계관리를 통합하고 품질보증에 사용된다. 또한 이는 CAD/CAM system인 CATIA를 필요로 하며 이에 통합되어 있으므로, 설계에서 제조현장을 연결하는 일관된 공통의 설계정보(도면, 3차원 입체모델, 치수공차 data 등)를 사용하여 운영되고 있다. 즉 설계단계에서 작성하여 입력된 설계정보는 제조부터 검사공정에 이르기까지 일관되게 사용되므로, 설계의 모순과 오류를 감소시키고, 설계변경, 기술변경의 대폭적인 감소, 제조공정의 흐름을 원활하게 하여 공정의 단축, hard gauge 제작비용의 감소 및 품질의 향상을 실현한다. 또한 Valisys는 부품의 특정형상을 검사하기 위한 hard gauge를 제작하는 대신에, CAD model과 치수공차에 근거하여 computer 상에서 Softgauge를 생성한다. 이 Softgauge는 측정검사 경로의 작성, 측정결과의 합부판정, 여러부품의 조립성 평가에 사용된다.

Valisys는 다음과 같이 5개의 프로그램으로 구성되어 있다.

- Host computer 탑재 프로그램
 - 설계검증 프로그램
 - 공차검증 프로그램
 - 품질기술 프로그램
- Terminal computer 탑재 프로그램
 - 검사 프로그램
 - 통계관리 프로그램

①설계검증 프로그램

이는 각각 독립하여 실행되는 2개의 기능인 Check 기능과 Gauge 기능으로 구성된다.

Check 기능-CAD model의 제도기호법, 형상공차를 설계표준에 의하여 문법 check를 행하여 도면 및 설계자료의 완전함을 검증한다.

Gauge 기능-Softgauge를 정의하여 도형과 그 도형에 관계하는 치수를 check하여 설계도에 지정된 치수와 공차에 기준하여 정확한 Softgauge를 생성한다. 이 Softgauge는 CATIA system의 data base 상에서 작성된다. 그리고 이 model은 부품의 측정결과가 기준치를 벗어나도 공차범위내에 있는가를 검사하기 위한 tool로서 사용된다.

②공차검증 프로그램

복수의 부품으로 구성된 제품의 조립성을 양호하게 하기위해서, 부품을 제작하기 전에 설계 단계에서 각각의 조립부에 Softgauge를 사용하여 simulation을 행한다.

③품질기술 프로그램

이 프로그램은 다음의 3개의 기능으로 구성되어 있다.

PATH 기능-부품의 형상마다 작성된 Softgauge를 사용하여 자동적으로 CMM의 측정검사 경로를 작성한다. 이 측정검사 경로는 host computer에서 제조현장의 terminal computer로 down load 된다. 그림 7에 경로작성 결과를 보여준다.

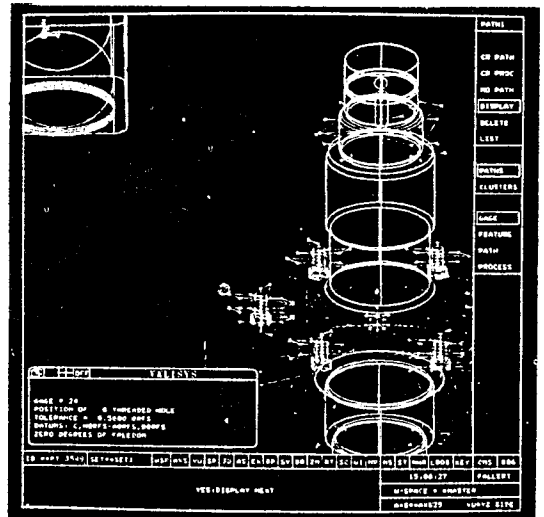


그림 7. 측정검사 경로의 simulation

ANALYZE-제조현장의 terminal computer에서 부품을 측정한 결과를 3차원 model의 format으로 변환하고, 대응하는 Softgauge에 적합한지를 검증하기 위해 비교한다. 결과로서 합부판정이 이루어지고 불합격인 경우 재가공이 가능하면 그 재가공의 정보(가공치수 및 사양)을 화면상에 표시한다.

GENERATE-Valisys를 customize하기 위한 Valisys 제어언어(VCL)를 지원한다. VCL은 기계를 제어실행하는 일련의 스텝을 정의하는 tool이다. 제어언어의 문장은 host computer에서 작성되고 제조현장의 terminal에 down load되어 실행된다.

④검사 프로그램

이 프로그램은 다음의 3개의 기능으로 구성되어 있다.

검사기능-품질기술 프로그램으로 작성된 측정 검사 경로를 사용하여 CMM 및 그외의 측정장치를 가동하기 위한 지령을 실행한다.

INTERFACE-CAD/CAM data base와 제조현장과의 정보수수를 위한 결합기능이다.

QUALIFY-측정결과의 합부판정을 행하는 것으로서 최초의 검사기능에서 얻어진 data를 사용하여 부품의 수학적 model을 생성하고, 이 model과 적절한 Softgauge를 비교하여 적합성을 검토한다.

⑤통계관리 프로그램

이는 부품을 자동적으로 합부판정하는 검사프로그램에서, 실시간으로 data를 받아들이고, 그 data를 사용하여 제조공정의 품질을 감시하고 품질보증을 지원한다. 이 기능은 최고 15개의 서로 다른 변수를 사용하여 공차의 범위와 측정 data를 표시하는 관리도를 작성하여 표시한다.

2) ROBCAD/ CMM

이는 CMM의 off-line programming을 위한 programming과 최적화, 동작확인을 행하기 위한 graphic simulation package이다. 그림 8에는 ROBCAD/CMM의 운용환경을 보여준다.

①ROBCAD/CMM의 기능

- CMM과 probe 및 주변장치의 modeling
- 측정물의 배치를 위한 lay-out
- CMM과 probe의 정확한 emulation

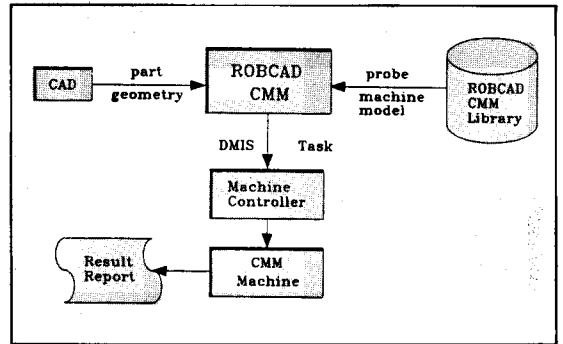


그림 8. ROBCAD/CMM의 운용환경

- 최적의 측정방법 도출
- 측정점의 자동설정
- Probe와 측정물의 충돌회피

②ROBCAD/CMM의 특징

- Task는 기본도형 요소를 포함하여 작성된다. 치수, 위치, 허용차, 측정방법은 측정도형 요소마다 대응하고 있다.
- 실제의 CMM의 조작에 기준한 user interface이다.
- CMM data base에는 1개소마다 형상측정 정보를 격납하고 있다.
- 형상측정 task는 CMM에 의존하지 않는다.
- 형상측정 task는 언어 독립적이다. 따라서 programming은 언어에서 독립하여 graphic 환경 하에서 수행된다.
- DMIS를 지원하고 있다.
- Simulation 방법은 DMIS interpreter에 의한 방법, DMIS를 직접 ROBCAD/CMM에서 simulation하는 방법, 작성된 CMM의 program을 simulation하는 방법등 3가지 이다.
- Probe의 자세는 ROBCAD 독자의 algorithm에 의해서 자동결정되며 수정가능하다.
- 측정점도 자동결정되나 수정가능하다.
- Program의 최적화를 위해서 기본형상 요소 간의 측정순번변경, 경유점 변경, probe의 최적자세 결정이 이루어 진다.
- Program 변경이 용이하다.

다음 그림 9는 ROBCAD/CMM에 의한 simulation 예를 보여 준다.

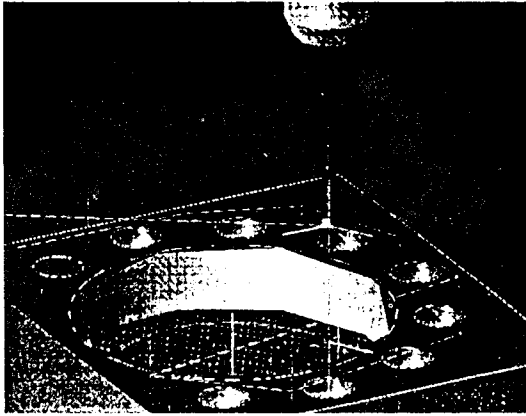


그림 9. 측정경로 simulation 예

4. CMM의 오차요인 및 설치환경

CMM을 도입하여 사용함에 있어서, 고정도 측정을 위한 측정환경관리를 고려해야 한다. 여기서는 먼저 CMM을 비롯한 측정기의 측정오차요인을 분석하고, 그 환경요인에 대하여 알아본다.

4.1 형상측정의 오차요인

CMM은 대부분의 경우 고정도로서 공간측정정도가 3~5 μm 이고, 측정대상인 제품 및 부품의 도면상의 요구정도도 거의 같은 수준이다. 따라서 μm 단위의 확실한 측정을 실행하기 위해서는 측정오차의 요인으로 되는 요소를 알고 있어야 한다.

표 1. 3차원 측정기의 측정오차 요인

구분	측정 system				환경	측정물	측정자
	측정기 본체	Scale system	Probe	Program			
오차	본체구조	구조	구조	측정방법	온도	온도	측정치 입력방법
	강성	정도	검출방식	계산방식	습도	세정도	측정물 설치방법
	동적정도	설치위치	설치정도	근사법	진동	표면조도	측정기 취급방법
	안내면	설치오차	동적정도	측정점수	먼지	가공정도	경험
요인	온도	양자화 오차	측정력	소수단위	기압	입체형상	지식
		온도	접촉속도	취급성	소음		
			반복정도				
			입력위치				

다음 표 1은 측정기, 특히 3차원 측정기의 사용시 나타날 수 있는 측정오차의 종류를 정리한 것이다.

다음에는 형상측정에 있어서의 환경의 영향을 고찰해 보고자 한다.

4.2 측정정도에 영향을 주는 환경요인

4.2.1 온도의 영향

100mm 강제 block gauge의 온도가 1 $^{\circ}\text{C}$ 변화하면 1.1 μm 정도 신축하는 것은 잘 알려진 사실이다. 이와 같이 측정정도에의 온도는 치수에 현저한 영향을 미친다. 따라서 정밀한 측정을 행하는 부분에는 측정실 전체를 주야연속 공기조화 운전에 의해서 측정기와 주변과의 온도평형을 유지하는 온도관리가 수반되어야 한다. 특히 CMM에 있어서의 온도의 변화는 각축 길이방향의 신축뿐만 아니라 직각도에도 영향을 미치므로 전체적인 공간정도에 오차를 유발하게 된다. 또한 공조시설한 측정실의 실내에서도 천정부부와 바닥부, 중앙과 구석부분의 온도차가 있을 경우가 많다. 이 때는 설치된 측정기와 피 측정물의 크기를 고려하여 이를 균일하게 온도제어할 필요가 있다.

4.2.2 진동의 영향

형상측정 중에서 아주 미세한 표면형상과 진직도를 측정하는 경우에 진동이 문제가 되는 경우가 많다. 측정의 진동의 영향을 방지하기 위

해서는 먼저 진동원인 공장내의 프레스 기계와 대형공작 기계등의 기기에 대한 진동발생의 억제대책을 수립하는 것이 최선의 방법이다. 방진대책으로서 사용되는 방진대 및 방진재는 여러 종류가 있고, 진동의 영향을 방지하고자 하는 기기의 특성 및 용도에 따라 선택하여 사용할 필요가 있다.

4.2.3 먼지의 영향

CMM의 안내면에 주로 이용되는 공기압축수에 대기중의 먼지, 오물, 기름등은 측정정도뿐만 아니라, 측정기 자체의 동작성 및 수명에 영향을 미친다. 따라서 공급공기의 filtering 및 건조 장치를 설치해야 하고 측정환경의 청결유지가 필수적이다.

4.2.4 기타 환경의 영향

다음 표 2에 일본 산업규격에서 정한 길이 표준실의 환경조건을 참고로 열거하였다.

5. CMM의 이용 효과

- 1) 대량 반복생산품의 품질평가
CMM의 이용효과로서 가장 많은 부분을 차지

한다. CMM은 측정물에 대응한 측정 part program을 실행시킴에 의해서 해당 부품의 전용 측정기로 되나, 측정 part program을 교환함에 의해서 간단히 타 부품의 측정기로 바꿀 수가 있어, CMM은 flexibility가 풍부한 program 제어 전자동gage라고 할 수가 있다.

2) 고 정도 측정

CNC 제어에 의한 측정으로서, 측정속도와 측정방향을 임의로 할 수가 있고, 안정된 측정을 행할 수가 있다. 또한 종래의 측정기기로는 측정 불가능한 개소의 측정이 가능하게 되어, 제품의 품질 및 신뢰성을 향상시킬 수 있으며 측정의 개인오차를 줄 일 수 있다.

3) 고속 측정

검사결과를 빠르게 평가하여 가공공정에 feedback 하므로서 생산능률의 향상, 불량품을 저감시킬 수 있다.

4) 장 시간 측정

측정개소가 수 백개소에 이르는 측정물의 측정과 장시간에 걸친 윤곽형상 측정등을 CNC 제어에 의해 자동으로 수행할 수가 있다.

5) 성력화

숙련자가 필요없으므로 인건비를 절감할 수

표 2. 길이 표준실의 환경조건

측정 등급	E		G	S
	AA	A	B	C
온 도	20°C±0.5°C	20°C±1°C	20°C±2°C	20°C±5°C
온도변화율	0.5°C/h	1.5°C/h	특별한 정의 없음	
습 도	58%(50~60%)±5%		(45~60%)±10%	(45~60%)±20%
먼 지	전기집진기, filter 사용		필요에 따라 filter 사용	
기 압	760mm Hg 실내를 0.1kPa 높게	실내의 압력을 높게하여 틈새로 먼지의 유입을 막을 수 있을 정도		
진 동	속도 2×10 ⁻³ 이하 p-p 1m 이하	필요에 따라서 방진대		규정 없음
전 자 계	필요에 따라 전기표준실과 동일조건		규정 없음	
전 원 조 건	전압 : ±1%이내 주파수 : ±0.5%이내	규정 없음		
접 지	10Ω 이하		제 3종 접지	
조 명	작업의 종류에 따라 전기표준실과 동일조건			
소 음	50 phon 이하		규정 없음	

있고, jig등의 설비비를 줄일 수 있다.

6. In-line 측정에서의 효과와 도입조건

앞에서도 기술한 바와 같이 in-line 측정의 제일의 효과는 생산 가공기계가 정상적으로 동작하고 있는가를 on-line으로 확인할 수 있는 것에 있다. 최근의 생산 가공기계 기술은 꽤 진보하고 있고 기계자체에서 자기진단을 통하여 그 신뢰성을 확보할 수 있도록 되어 있으나, 공구의 마모등은 발견하기 어렵다. 이것이 원인이 되어 가공품의 치수오차를 유발하기도 한다. 그러나 in-line 측정에 의해서 각각의 가공기계의 가공치와 가공설계치와의 오차를 확인한다거나, 도면의 오차 한계와 비교하고, 경우에 따라서는 이들을 통계 처리함에 의해서, 가공기계가 정상인지 아닌지를 확인할 수 있다.

그러나 고속화를 추구하는 생산, 가공 line에 대응시키기 위해서, 측정기의 고속화가 과제이며 특히 in-line에서의 CMM을 이용한 측정을 검토할 단계에서는 다음과 같은 생산라인이 갖추어야할 조건을 검토해야 한다.

- ① 생산라인에서의 연간 온도변화의 추이를 확인 하였는가.
- ② 생산라인의 진동조건은 어떠한가
- ③ 생산라인의 방진조건은 어떠한가
- ④ 측정정도가 공작물의 요구조건을 만족하는가
- ⑤ 측정속도가 생산라인의 공작물 가공속도를 만족하는가
- ⑥ Software의 application이 생산라인 가공공작물의 측정요구를 만족하는가
- ⑦ 측정기의 조작성이 생산라인 기술자의 기술로서 충분히 조작가능한가
- ⑧ 외부 computer와의 interface 능력이 그 공장이 가진 CAD, CAM, CAQ의 기능을 만족하는가
- ⑨ 측정기의 형상과 기능이 생산라인이 가진 반송장치와의 연결조건을 만족하는가 등이다.

7. 대표적 In-line 측정기의 예

전술한바와 같이 급변하는 생산형태의 변화속

에서 그 필요성이 대두되는 in-line 형태의 측정기로서, 필요한 사양을 대부분 만족하는 미국 Brown Sharpe의 Process Control Robot로 명명된 3차원 측정기를 소개하고자한다.

1) PCR의 실장성

생산시스템의 시스템지향은 기계본체의 자동화에서 그 주변기기와의 연결과, 나아가 공장전체의 net work화 및 무인화로 귀착된다. CMM의 분야에서 이러한 흐름에 착안하여, 구조가 탁월하고 완성도가 높은 공정제어기의 개념으로서 가공공정을 감시, 진단하는 범용 측정로봇이 PCR이다.

2) 고속성

FMS에 있어서의 전수검사, FTL에 있어서의 선택검사등, 어떤 경우에 있어서도 in-line 측정로서는 가공속도에 대하여 충분한 측정속도를 가져야 한다. 이 측정속도 지향은 종래의 CMM으로서는 혼류생산에 의한 측정요구의 질과 양의 증대, 대기 및 준비시간의 증대에 따른 측정시간의 단축화에 한계가 있다. PCR의 위치결정 속도는 500mm/s, 가속도는 0.3G를 달성하고 있어 일반 CMM에 비하여 약 3~5배 정도이다. 따라서 측정기의 측정처리 능력이 3~5배로 볼 수 있다.

3) 내 환경성

기계가공 라인은 그 정도의 차는 있으나 기름과 분진 및 온도, 습도, 진동의 열악한 환경이 기존의 CMM의 설치에 많은 어려움을 주고 있다. PCR은 이러한 가혹환경속에서도 그 신뢰성을 유지할 수 있도록, 기계자체의 강성이 기존 CMM에 비하여 6~10배 정도로 설계되어 있고, 진동흡수 및 dust 방지를 위한 벨로우즈설치 등 여러 대책이 마련되어 있다.

그림 10에는 PCR의 외관을 보여준다.

8. DMIS(Dimensional Measuring Interface Specification)

DMIS의 목적은 현재의 NC 가공 프로그램과 같이, CAD로서 작성된 측정 part program을 모든 측정기에서 공통으로 사용가능 하도록 하는 것에 있다. 그림 11에 그 개념도를 표시한다.

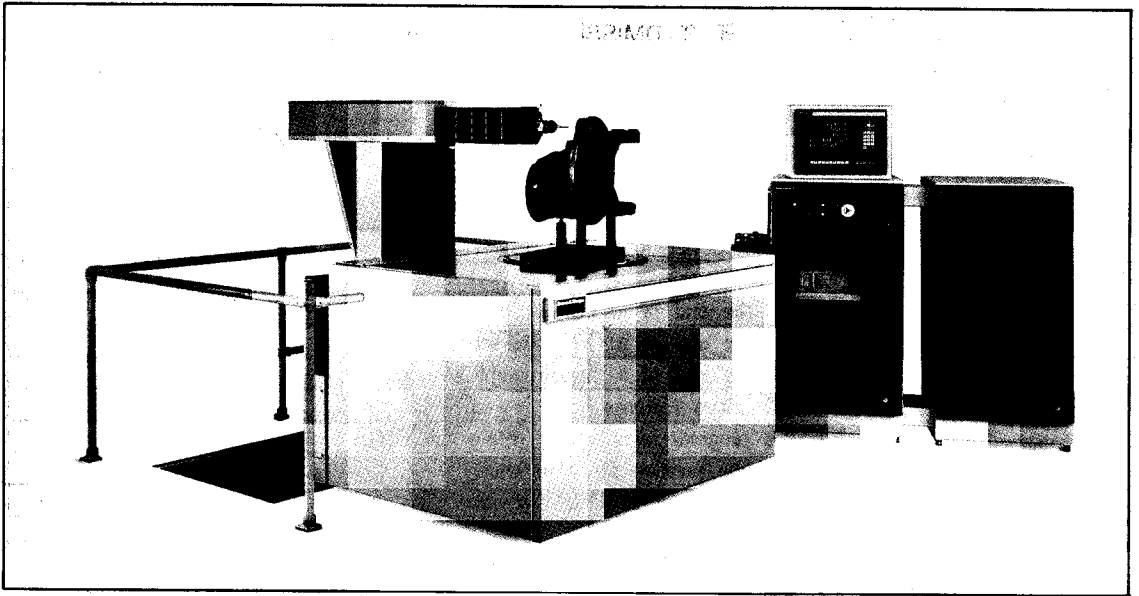


그림 10. PCR 측정기의 외관

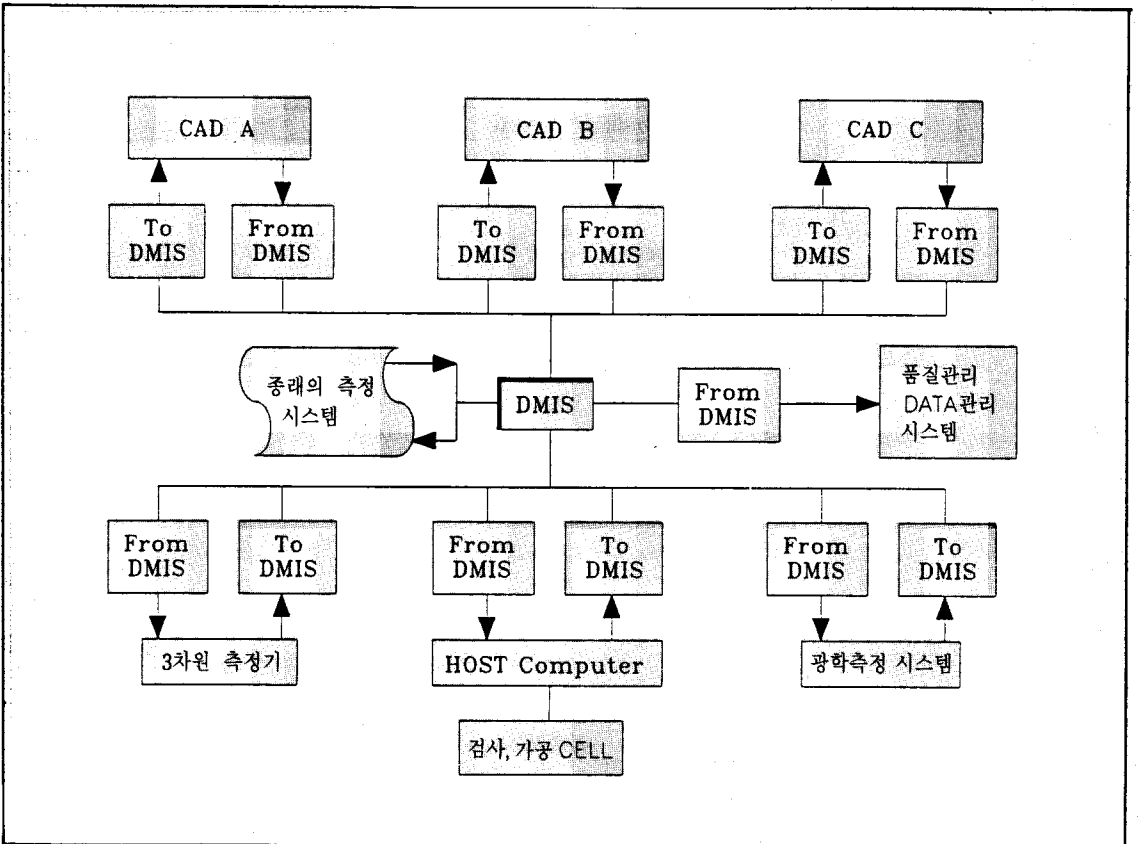


그림 11. DMIS의 개념

표 3. DMIS의 주요 Command

DMIS Major Word	Remarks
CONST	Construct features
DATDEF	Assign a datum to feature
DATSET	Define and activate a part coordinate system
DECL	Declare variables
DISPLY	Specifies a device for output data
DMISMN	
ENDFIL	Signifies the end of a program
ENDGO	Signifies the end of a GOTARG sequence
ENDMES	Signifies the end of a measurement sequence
FEAT	Defines various features
FILNAM	Provides program identification within the DMIS file
FROM	Define home position for a program
GOHOME	Returns the sensor to FROM position
GOTARG	Safely moves the sensor
GOTO	Move the sensor
MEAS	Activates the measurement of a features
MODE	Sets the mode for MEAS and GOTARG statements
OUTPUT	Outputs results of a measurement
PTMEAS	Measures a point for a feature
RECALL	Recalls data stored with a SAVE statement
ROTAB	Controls the motion of a rotary table
ROTATE	Rotates the part coordinate system
ROTSET	Reset the angular counter of a rotary table
SAVE	Stores part coord. system & sensor calibration data
SNSDEF	Defines a sensor
SNSSET	Specifies and activates a sensor
SNSLCT	Selects sensors for measurements
TEXT	Specifies various forms of text
TOL /ANGL /ANGLB /CIRLTY /COR-TOL /CYLCTY /DIAM /DISTB /FLAT /PARLEL /RAD /STRGH T	Defines various tolerences
TRANS	Translates a part coordinate system
UNITS	Specifies the activeunits in a program
VFORM	Specifies the content of vendor output
WKPLAN	Declares a working plane

표 4. DMIS program list

```

more sample. dmi
DMISMN/ 'III'

$$ DMIS file
UNIT/MM, ANGDEC
D(mcs)=DATSET/mcs
SAVE/D(mcs)
V(all)=VFORM/ALL
DISPLY/PRINT, v(all), STOR, DMIS
PRCOMP/ON
FILNAM/'example. dmi'
MODE/PROG, MAN
WKPLAN/XYPLAN

ACLRAT/POSACL, MPMM, 100
ACLRAT/MESACL, MPMM, 20
FEDRAT/POSVEL, MPM, 100
FEDRAT/MESVEL, MPM, 20

S(-TIP12)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 0.0000, 0.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP11)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 45.0000, -90.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP10)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 0.0000, 0.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP9)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 0.0000, 0.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP8)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 82.5000, -97.5000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP7)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 90.0000, -97.5000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP6)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 90.0000, 90.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP5)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 90.0000, 0.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP4)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 90.0000, 90.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP3)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 90.0000, 180.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP2)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 90.0000, 180.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIP1)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 90.0000, 180.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000
S(-TIPO)=SNSDEF/PROBE, INDEX, POL, 0.0000, 0.0000, 0.0000, $
0.000, -1.0000, 68.0675, 2.2000

SNSLCT/S(-TIPO)
SNSET/APPRCH, 3.0000
SNSET/RETRCT, 2.5000
F(plan2)=FEAT/PLANE, CART, 156.0517, 282.8403, -364.1577, $
0.0000, 0.0000, 1.0000

MEAS/PLANE, F(plan2), 3
PTMEAS/CART, 153.2416, 280.8231, -364.1357, 0.0000, 0.0000, $
1.0000

```

서로 다른 maker의 CAD, 측정기가 각각 DMIS의 preprocessor, postprocessor를 준비함으로써 공통 이용이 가능하다. 특히 쌍방향의 data 교환이 규정되어 있는점이 NC와 크게 다른점이다.

DMIS는 NC program과 같이 고급 프로그램 언어의 형식을 갖고 있으므로, 측정자가 직접 편집하기에 용이하다. DMIS에 사용되는 command와 프로그램 예를 표 3 및 표 4에서 보여주고 있다.

9. In-line 측정 시스템의 연구개발에

여기서는 한국기계연구원에서 수행하고 있는 고기능 자율가공 시스템 개발의 한 연구 분야인 측정 시스템개발의 연구내용을 소개하기로 한다.

9.1 3차원 측정 시스템의 layout

사용하고자 하는 측정 시스템은 항온, 항습의 공조시설이 갖추어진 측정실에서의 사용이 아니라 FMS 라인에 투입하여 shop floor에서의 측정을 필요로 하고 있으므로, 이에 필요한 측정 시스템의 환경을 구축해야 한다. 결과로서 시스템의 layout은 다음과 같다.

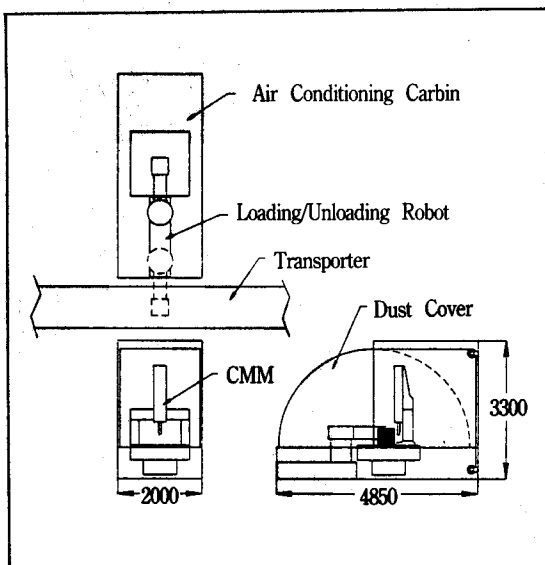


그림 12. 측정 시스템의 Lay-out

측정기 자체의 구비조건은 다음과 같다.

- ① 기구형태로서는 측정을 위한 workpiece set-up과 automatic part transporter와의 용이한 integration을 위해서 open gantry 또는 cantilever arm type이 바람직하나 가격이 bridge type에 비하여 2~3배 정도이다. 여기서는 일반 bridge type을 이용하고 workpiece의 handling을 위해서 2축 robot를 이용하기로 한다.
- ② Air bearing 지지 구조를 갖는 측정기는 저 마찰로서 측정정도가 양호하고 수동측정이 용이하나, 공장의 진동이나 먼지에 취약하다. 따라서 강재 bearing 지지구조의 guide way를 갖는 측정기가 바람직하나, 가격이 비싸고 정도가 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 air bearing 구조의 측정기를 이용하되 그림과 같이 먼지방지를 위한 cover 설치 및 공조용 cabin 내부에 측정기를 설치하도록 한다.
- ③ 측정을 위한 fixture는 측정기의 자동운동에서 상당히 중요한 사항이나, 별도로 고려하지 않고 가공시 set-up된 pallet를 그대로 사용하기로 한다.
- ④ 공조용 carbin 내에서도 측정기의 부위별 온도차에 의한 정도열화가 예상되므로 온도센서에 의한 온도측정과 이의 보정기능이 필요하다.
- ⑤ 범용 PC 및 CAD/CAM, CAQ system과의 intergration이 용이해야 한다.

결과로서 선정된 CMM 및 workpiece handing을 위한 robot의 사양은 다음과 같다.

표 5. 3차원 측정기의 사양

측명 항목	X	Y	Z	비고
측정범위	650	600	500	mm
측정물크기	800	1200	540	mm
외형 크기	1400	1520	2670	mm
직선 정도	0.0033	0.0039	0.0032	
체적 정도	0.008/400			B89.1.12M
반복 정도	0.0025			B89.1.12M
분해능	0.0001			
중량	2270			Kgf
취급 중량	1135			Kgf

표 6. 측정물 Set-up Robot의 사양

측명 항목	Y	R	Z	Hand
동작범위	1150mm	$\pm 180^\circ$	30mm	50mm
외형크기	1500mm	1100mm	1000mm	
구동원	AC Servo	AC Servo	공압	공압
기반중량	Hand 포함 300 Kgf			

9.2 자동 측정경로 생성을 위한 알고리즘 개발

측정작업의 무인화에 있어서 가장 핵심적인 기술은 주어진 측정물의 CAD data에 의하여 측정점들이 주어졌을 때, 이러한 측정점을 단시간에 측정할 수 있는, 측정점간의 측정경로 탐색기술이다. 현재는 그 기초연구로서 2차원 형상 또는 3차원 형상의 투영상 대해 측정경로를 계획하는 알고리즘을 개발하였다. 앞으로 모든 측정 위치에 대한 최적화된 경로를 찾는 경로계획 알고리즘을 개발할 예정이다.

9.2.1 경로 계획(Path Planner)

부품에 대한 측정자동화의 효율성과 정확성을 위해서는 미리 오프라인 프로그램(off-line program)으로 측정하고자 하는 위치, 이동할 때의 좌표값, CMM의 프로우브(probe)의 자세에 대한 정보를 주어야 한다. 특히 실제 측정하는 시간보다는 측정점을 찾고, 다른 측정점으로의 이동하는 시간이 경로에 따라 매우 크다. 이러한 이동경로를 최적화 시켜주는 것이 경로계획이다. 이러한 경로계획은 2가지 부분으로 나누어지는데 부품의 형상에 대한 근사치를 추출해 내는 부분, 최적의 경로를 찾는 부분이다. 측정 위치는 우선 결정되어 있어야 하고 프로우브(probe)의 자세제어는 최적의 경로가 나온 후에 그 경로에 맞는 자세를 도출함으로써 측정에 필요한 오프라인 프로그램을 마치게 된다.

경로계획에 있어서 해야 할 일은 부품의 형상을 입력받아서 주어진 측정환경 하에서의 형상인식(형상추출)을 해야하고, 그러한 형상인식을 토대로 최적화된 경로를 탐색하는 것이다. 형상인식을 위해서는 여러가지의 방법이 있지만 형상의 복

잡도에 관계없이 일정한 시간이 걸리는 근사적 자분할법(approximate cell decomposition)을 사용하였다. 그리고 경로를 탐색하기 위해 탐색트리를 구성하고 구성된 트리에 의해 여러가지 탐색방법에 의한 최적해를 구한다. 아직까지 탐색방법과 트리의 구성상의 최적화가 이루어지지 않았고 여러 개의 측정점을 연결하는 데에는 무리가 있지만 단순하고 빠른 방법을 사용하였다. 하지만 실제적으로는 여러 개의 측정점을 측정하는 경로를 만들어야 되므로 이러한 문제는 세일즈맨 순환문제(traveling salesman problem)와 같이 경험적 탐색방법을 사용해야만 최적해를 구할 수 있다. 현재까지는 알고리즘은 개발되어 있지만 구현을 하지 못했다. 일차적으로는 두 측정점 사이의 최소 경로를 탐색하는 방법만을 구현했다.

9.2.2 최단 거리 경로(Minimum distance path)

본 연구에서 개발된 알고리즘은 측정공간 생성과 측정물입력 및 두 측정점을 입력하고, 그 다음으로 측정공간에 대한 approximate cell decomposition을 해서 자유공간과 측정물이 있는 공간을 구분한다. 측정 공간의 구분이 끝나면 4-connected wave front 방법에 의해 cell에 번호를 부여한다. 번호의 부여방법은 시작점이 0이고, 4방향으로 1씩 증가하고, 대각선 방향으로 2씩 증가한다. 다음으로 각각의 측정물에 근접한 모소리 점들을 경유점으로 설정하여 이러한 경유점들을 연결리스트에 저장해 둔다. 마지막으로 이러한 연결리스트에 있는 경우점들 간의 실제로 가능한 경로인지를 판단하여 경로를 만들어 간다. 이 때 각각의 경로에 대해 거리를 계산하여 tree가 완전히 구성되면 모든 가능한 경로에 대한 거리가 나오게 된다. 이 경로들 중 거리가 가장 짧은 것을 선택하게 된다.

9.2.3 실행 결과

앞에서 기술한 내용을 구현하게 되면 그림 13과 같은 결과를 얻게 된다. 흰색부분이 측정 대상물이고 측정시작점의 wave front 번호가 영이다. 이

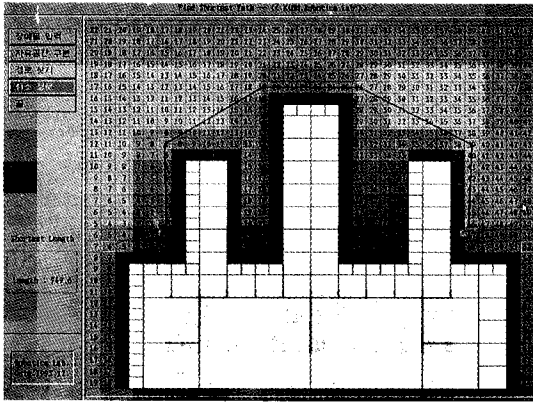
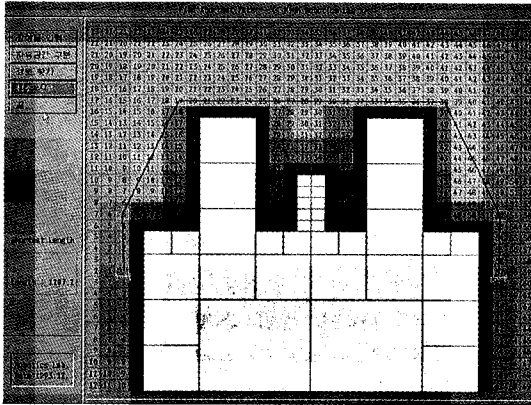


그림 13. 최단 측정경로의 생성

지점을 시작으로 측정목적점으로 가기 위한 경로를 굵은 검은색 선으로 표현하였다. 나머지 희미한 선은 최적경로가 아닌 경우이거나 경로를 탐색하다 실패한 경우에 대한 예이다. 이 프로그램은 아직까지 형상을 정규화 하지 않았으므로 거리값이 화면의 크기에 따라 바뀐다. 이러한 문제는 3차원 확장때에 이루어 질 것이다. 특히 3차원 측정문제에 있어서는 사용자에게 도시하기가 힘들다. 솔리드 모델링(solid modeling) 기법보다도 와이어 프레임(wire frame) 기법이 더 가시력을 줄 것이므로 이러한 방향에 대해서도 연구를 할 예정이다.

10. 결 론

3차원 측정기와 이의 in-line 측정의 응용기술에 대하여 그 동향을 기술하였다. CMM은 FA화의 진전과 까다로운 품질관리의 요구에 부응하기 위한, 고속, 고정도 측정의 자동화 및 생산라인의 시스템화에 유연하게 응용될 수 있다. 그러나 궁극적인 무인화에의 길은 측정환경에 대처하기 위한 CMM 자체의 기구적인 발전뿐만이 아니라, 이의 운용을 위한 software 개발의 여지가 아직도 많이 남겨져 있다.