

Computer-Aided Testing : State-of-the-Art

Sunn Ho Kim

Automation Engineering Department, Korea Institute of Machinery and Metals

ABSTRACT

생산공정중에서 검사공정이 비교적 늦게 자동화 되어 왔으나 Coordinate Measuring Machine (CMM)과 computer의 결합을 통하여 Computer-Aided Testing (CAT) 이 실현되고 있다. 이 논문에서는 CAT에 대한 전반적인 개념을 설명하였으며, CAD 및 CAM 과 CAT의 결합, expert system을 이용한 측정계획의 수립, vision 을 이용한 측정자동화의 경향을 설명하고 있다. 또한 CAD와 Coordinate Measuring Machine (CMM) 의 결합에 필요한 data 교환 format을 소개한다. 그리고 현재 상용화 되어 있는 CAT software들의 기능을 소개한다.

1. 측정 자동화의 필요성

CMM(Coordinate Measuring Machine, 3차원 측정기)은 측정table 위에 놓여진 측정 대상물을 측정하고 싶은 점에 probe를 대어 그 점의 x, y, z 좌표값을 검출하고 computer에 의해 그 좌표값을 처리하는 것으로서 3-D 형상을 효율적으로 측정하는 기계이다. 범용적으로 측

정에 사용하는 것 외에도 flexibility가 높고 생력화에 효과를 가져오는 CMM은 형상이 복잡한 부품이 증가함에 따라 급속히 보급되어, 현재로서는 정밀 측정기의 중심적인 존재로 되고 있다.

최근 제품의 다양화, 고도화, life cycle의 단기화 등으로 인하여 기계부품의 생산공장에서는 FA화가 급격히 추진되고 있으며, computer에 의한 설계, 생산지원 시스템인 CAD/CAM, 다품종소량생산을 목표로 한 FMS등을 통해 자동화, 생력화가 진전되고 있다. 최근에는 검사공정의 중요성이 인식되어 단순히 제품이 설계에서 주어진 Spec을 만족하고 있는지를 판단할 뿐만 아니라 그 정보가 설계, 가공공정으로 feedback되는 기능이 요구되고 있다. 그러나 이와같은 중요성에도 불구하고 검사공정의 자동화는 늦어지고 있으며 computer에 의한 생산공정의 통합화에서 제외되고 있는 실정이었다. 그동안 측정은 작업자가 손으로 probe를 손으로 이동시키는 manual 방식, 손 대신 joystick을 사용하는 방식으로 이루어져 검사자동화의 중요성에도 불구하고 생산공정의 자동화 범주에서 제외되어 왔다.

그러나, 수치제어에 의해 자동측정이 가능해진 CNC방식으로 발전된 오늘날에는 검사공정의 자동화가 가능해져 설계, 가공, 검사공정의 통합화가 실현되어가고 있다. CNC에 의한 정밀 측정과 computer에 의한 측정 data 처리방식이 결합된 검사자동화를 Computer-Aided Testing (CAT), Computer-Aided Inspection (CAI) [4], Computer-Aided Quality Assurance (CAQ) [3,17] 라고 한다. 여기서는 CAT로 용어를 통일하기로 한다.

2. 측정자동화시의 측정방법

이러한 측정자동화가 이루어질 경우 측정작업을 1/5 ~ 1/10로 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 off-line teaching에 의한 측정자동화를 실현할 경우 측정시간이 단축될 수 있다 [10]. 일반적으로 수작업에 의한 측정은 1) 측정 위치의 검토, 2)

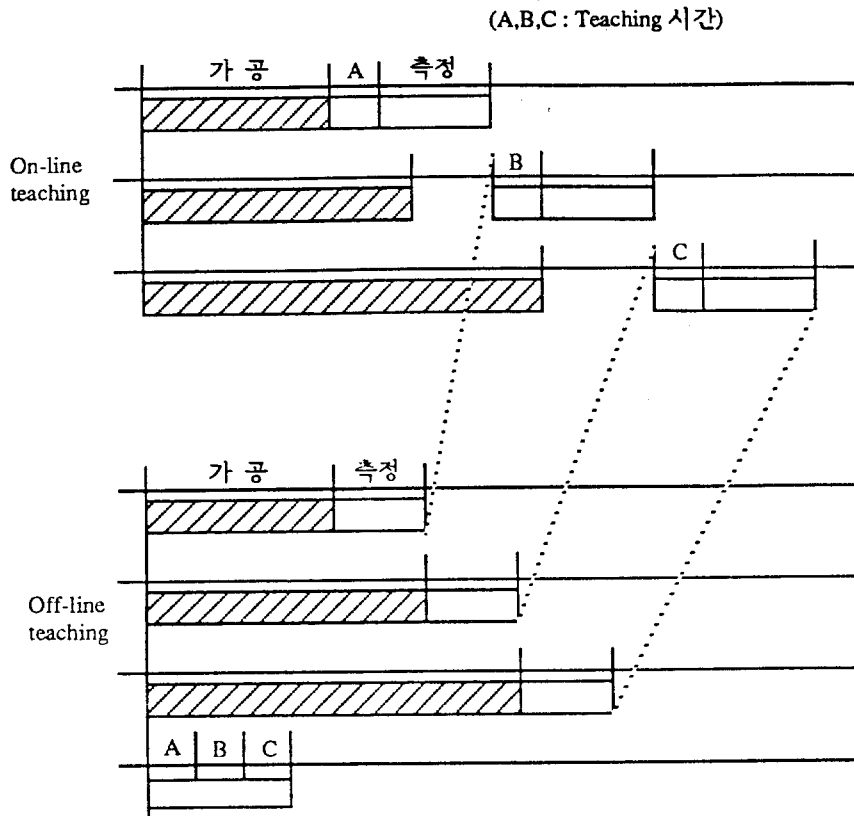


그림 1 On-line teaching과 off-line teaching

측정계획의 작성, 3) 측정 programming, 4) Test run, 5) 측정, 6) 측정 결과 해석, 7) 제 조건의 수정지시의 순서를 따르게 된다. CMM과 CAD system 이 결합된 CAT System 을 이용할 경우 다음과 같은 순서를 따르게 된다(그림 2참조 [6]).

- (1) 측정물의 CAD model을 선택 - 형상 및 측정위치 검토
- (2) 측정 planning, probe combination, fixture 및 clamp 방법 결정
 - probe 의 형상, 종류, 크기, 방향, extention shaft 의 필요성 등을 검토
 - fixture류 검토
 - 선택한 probe를 구성하여 각 위치에서의 측정 가능성 검토

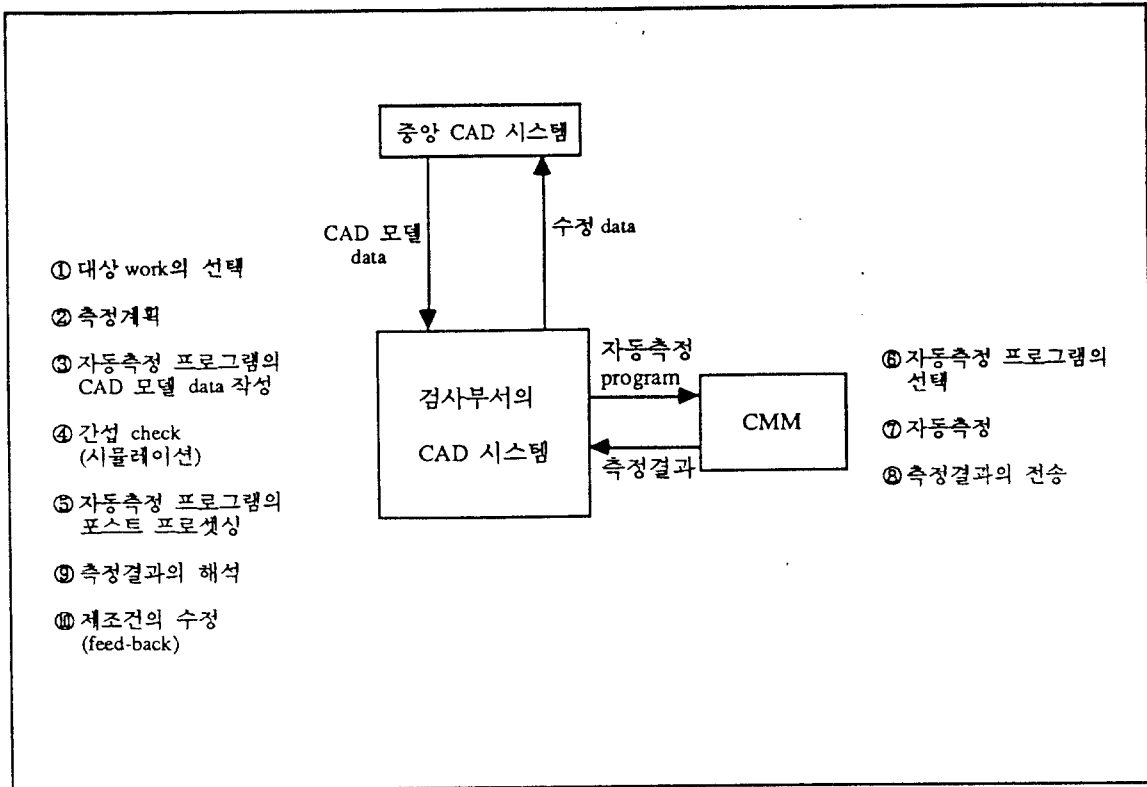


그림 2 CMM과 CAD 시스템이 결합된 CAT시스템에 의한 측정방법

(3) CNC 자동 측정 programming

- 측정요소(점, 원, 원호, 타원, 원통, 평면, 구, 자유곡선)의 지정은 tablet 이나 화면상의 menu에서 선택하거나 요소명을 직접 입력하는 방법이 있다.
- probing 위치 지정은 좌표값 입력, 화면상에서 지정, 지정한 측정요소내에서의 자동 발생 방법들이 있다.

(4) 측정시의 probe 이동 simulation

- probe path 를 display
- collision check

(5) post processing

- CAD상의 data에서 CMM의 control data 로 변환하는 것으로서 CAD 상에서 직접 변환하는 방법과, CAD의 고유 data를 표준화된 중간 format으로 변환하여 이것을 CMM으로 보내 CMM이 다시 고유의 control data로 변환하는 방법이 있다.

- (6) CNC 자동측정 program의 선택
- (7) CNC 자동측정
- (8) 측정결과의 전송 - CAD system으로 전송
- (9) 측정결과의 해석 - 도면, 가공방법의 수정을 위한 해석
- (10) 모든 조건의 수정

3 CAT의 자동화 추세

CMM을 자동화하는 데는 측정 table에 놓여진 측정대상물이 어떤 것이고 어디에 어떠한 형태로 놓여져 있는가를 인식해야 하며, 그 후 probe를 움직이는 명령을 생성하는 것이 필요하다. 측정대상물의 형태와 위치는 작업자에 의해 판단되고 측정항목이나 순서도 작업자의 측정지식을 이용해 결정하게 된다. 그러므로 CMM의 자동화는 숙련된 작업자의 지식이나 경험을 도입하는 것에 크게 영향을 받게 된다.

CNC 측정장치를 이용할 경우 이러한 측정작업은 미리 측정물을 측정물을 table상에 놓고 도면을 보면서 측정점이나 probe의 이동경로를 CNC 장치에 teaching하여 이 순서를 file에 저장하여 사용한다. 실제의 측정은 이 file을 호출해 CNC 장치를 playback하는 것이다. 이러한 teaching 방식으로는 다품종소량의 측정물에 대해서는 teaching 작업이 증가해 가동율이 저하된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 CAD data를 이용한 off-line teaching이 추진되고 있다 [3,14,18]. 이것은 설계, 가공에 이용되는 CAD/CAM과 결합하여 CAD data를 기초로 하여 실제 CMM을 사용하지 않고 CMM의 측정용 program을 생성하는 것이다. 부품의 geometric model에서 측정 probe의 path를 자동생성하는 방식이 많이 연구되고 있으며 이 방식에서는 geometric model에서 측정항목과 측

정점을 지시하면 자동적으로 CMM의 probe path를 결정함과 동시에 측정 data를 처리해 출력하게 된다. 이와 더불어 probe와 부품과의 collision도 검출하게 된다.

off-line teaching에는 solid model이 바람직하지만 2-D CAD에 drafting information이 기록되고 있으므로 2-D CAD의 data를 solid model의 입력 data로 이용하려는 경향이 있다. 이 방식은 2-D CAD로 묘사된 3면도에서 solid model을 생성하고 이 model을 이용하여 off-line teaching하는 것이다 [1,12].

또한 작업자의 경험에 의해 결정되어지는 측정순서를 자동결정하기 위해 expert system을 이용하기도 한다. expert system은 작업자가 지시한 측정내용이나 tolerance, 측정대상요소, geometry data에서 측정계획을 추론하는 데에 이용되고 있으며 그 시스템의 structure는 그림 3과 같다 [12]. 이 expert system은 frame과 production rule에 의해 knowledge를 표현하고 있다. frame에 의한 knowledge representation은 tolerance, geometric feature, 측정요소, 측정환경에 대해 이용되고 있으며 production rule은 전략의사결정을 위한 knowledge로 이용되고 있다. 이 expert system에 의해 측정방법이 정해지면 그 data를 이용해 측정점이 자동으로 생성된다. 이때 생성된 측정점, 측정경로는 probe의 자세를 고려해서 결정된다. 측정경로는 측정면 내에서의 경로(측정요소내의 경로)와 면과 면을 연결하는 경로(측정요소간 경로)가 있다.

이외에도 vision을 이용하여 형상의 image를 solid model로 전환시키거나 pattern matching에 의해 측정물을 인식한 후 이에 맞는 측정 programming을 하는 시도도 이루어고 있다 [8,12,15]. 측정물이 CMM의 table에 놓이면 ITV camera에 의해 그 측정물의 화상을 받아들여 3D 형상을 인식하고 측정 probe path가 생성되어 자동측정을 하

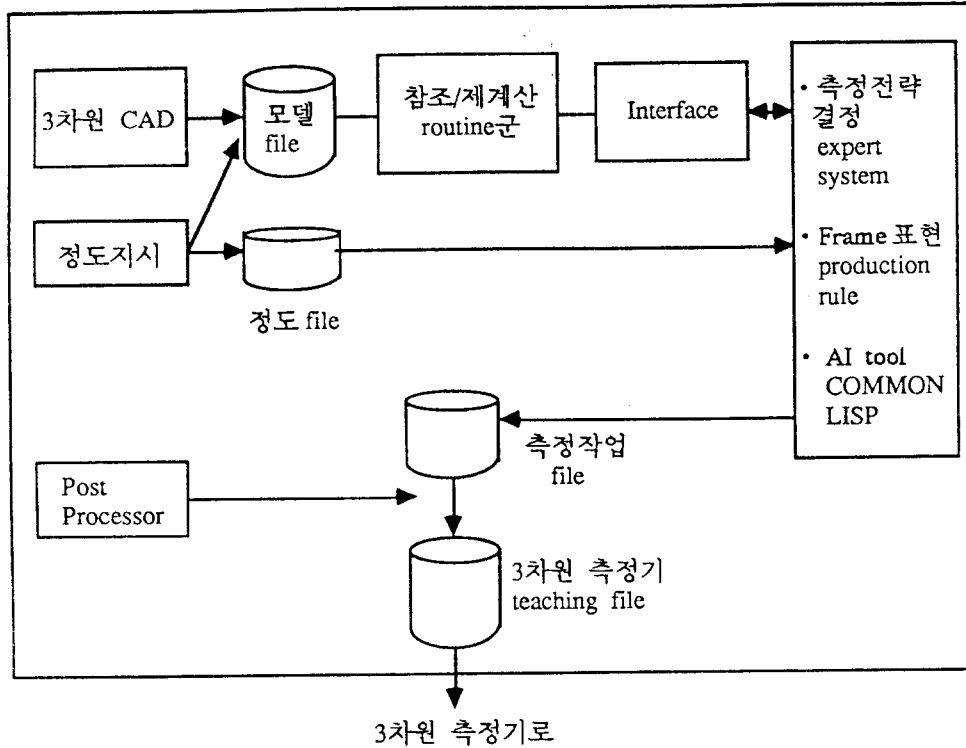


그림 3 CMM의 측정전략 결정 expert system의 구조

게된다. 그림 4는 화상에 의한 형상 data input 개념을 CAD data input 개념과 비교한 것이다. 화상처리에 의한 자동측정은 3단계로 구분된다. 1단계에서는 초기입력된 화상 data를 처리해 측정물의 edge로 구성되는 형상을 생성한다. 2단계에서는 edge를 이용해 vertex를 생성하고 edge와 vertex간의 관계를 고려하여 측정물의 3D 형상을 인식한다. 3단계에서는 3D 형상 data로부터 측정 probe path를 생성하며 자동측정하여 평가한다. 일반적으로 vision을 이용한 측정은 측정물의 형상이 복잡할 경우 비효율적이다. 형상인식용으로 보다는 측정물의 위치 산정용으로 사용하는 것이 더 바람직하다.

측정물의 평가치가 설계치를 만족하지 않을 경우 그 측정결과를 검토해 가공공정의 적합성이나 가공오차의 원인을 추정하고 그에 따른 오차보정을 위해 CAM system으로 정보의 feedback이 가능한 CAD/CAM/CAT 통합system이 제기되고 있다. 이러한 통합시스템이 그림 5에 요약되어 있다 [5,12]. CAD에서 만들어진 형상 model을 이

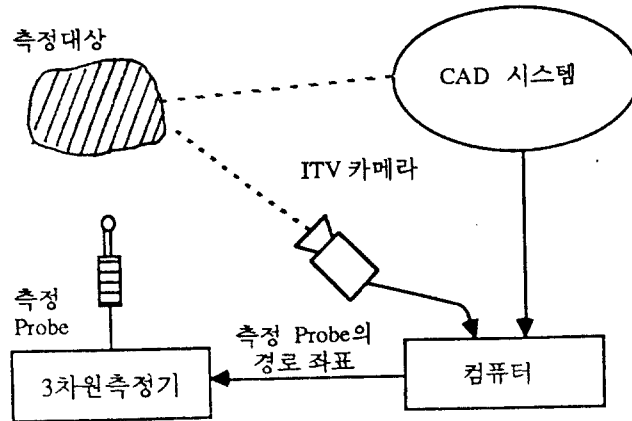


그림 4 CAD와 vision에 의한 off-line teaching의 개념

용하여 CAM에서는 가공면의 생성, 기준면 지정, 가공순서 결정, 각 가공면마다의 공구선택, 공구경로 생성이 이루어지고 있다. 이때 CAT 부분을 위한 측정면 model이 생성될 수 있도록 연구되고 있다. CAT system은 이 측정면 model 작성부, probe path생성부, 실체 model 생성부, 측정항목 검증부, 가공오차 원인 추정부에서 구성되어 있다. 이 시스템은 가공오차 원인 추정부에 특징이 있으며, 실체 model과 측정면 model의 비교로 불합격 항목이 나오면 부적절한 가공공정과, 가공오차의 요인을 순차적으로 추론해 출력한다.

4. CAD와 CMM의 Interface

CAD와 CMM간의 data 교환은 독일의 VDA format과 미국의 DMIS (Dimensional Measurement Interface Specification) format에 의해 이루어진다. VDA format은 독일의 자동차 연합회가 주로 자동차 body의 CAD data와 CMM data를 교환하기 위해서 만든 format이다 [6,9]. DMIS는 80년대에 미국의 CAM-I에서 만든 것으로서 이미 version 3이 개발되었다. DMIS는 측정 program을 CMM으로 보내주고 측정

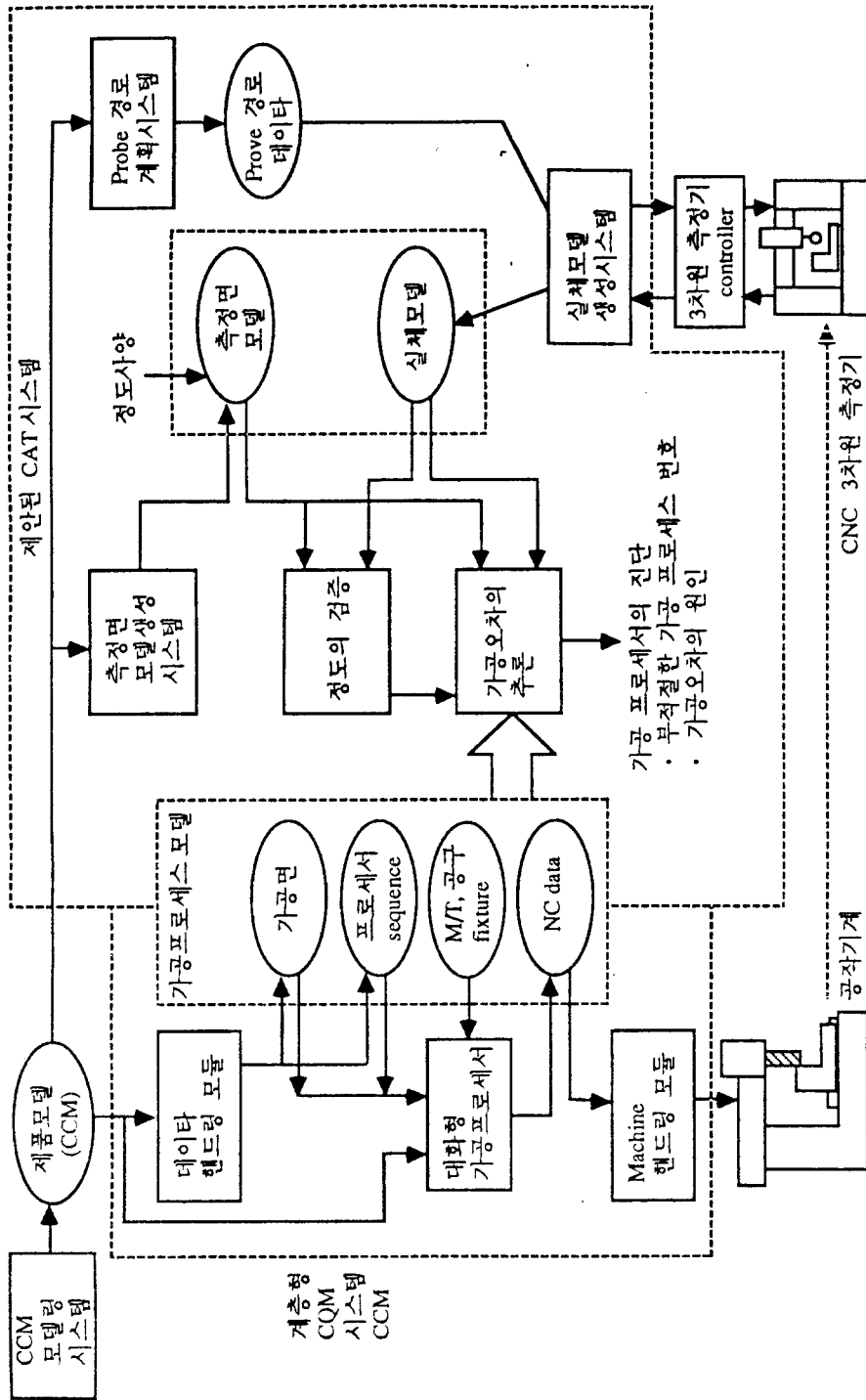


그림 5 CAD/CAM/CAT 통합화 시스템의 구조

결과를 CAD system 으로 보내주는 기능을 한다. 이를 위해서 CAD system과 각종 측정장비는 자체의 data 를 DMIS format으로 변환시켜 주는 pre-processor와, MDIS format 을 자체의 data format으로 변환하여 주는 post-processor가 필요하다.

DMIS format 을 이용하는 시스템 구성이 그림 6에 나타나 있다 [2]. 여기서 CAD system으로부터 측정 program이 생성되고 pre-processor에 의해 DMIS format으로 변환된다. 이 program은 측정장비 (DME: Dimensional Measuring Equipment) 로 전송되는데 pre-processor와 post-processor가 없는 측정장비로도 전송되어 이용될 수 있다. 측정된 data는 다시 DMIS format으로 변환되어 CAD system이나 QIS (Quality Information System) 으로 전송된다. 그러나 data 교환을 반드시 DMIS format을 통해서 할 필요는 없다. 일반적인 CAD system을 직접 측정장비에 연결할 수도 있고 serial 또는 parallel data link 를 이용할 수도 있다. DMIS 는 단지 ASCII file로 전송되는 vocabulary 를 정의하는 것에 불과하다. 이 ASCII file 의 전송, 저장, 관리에 대한 방법은 사용자에 따라 달라질 수 있다.

DMIS의 vocabulary는 APT NC programming language 와 문법상으로 유사하다. DMIS 에는 2 종류의 statement 가 있다. process-oriented command 와 geometry-oriented definition 이 있다. process command 는 motion statement, machine parameter statement, 그리고 측정과정에 필요한 statement 들로 구성되어 있다. 한편, definition 들은 형상, 공차, 좌표계, 그리고 CAD data base 에 포함될 수 있는 data type 들을 기술하는데 이용된다. DMIS에서 사용되는 standard는 다음과 같다.

ANSI/ASME B89.1.12M-1985 : CMM terminology

ANSI Y14.5M-1982 : geometric dimension and tolerance

ANSI X3.37-1987 : syntax of APT

ANSI Y14.26M-1978 : IGES specification

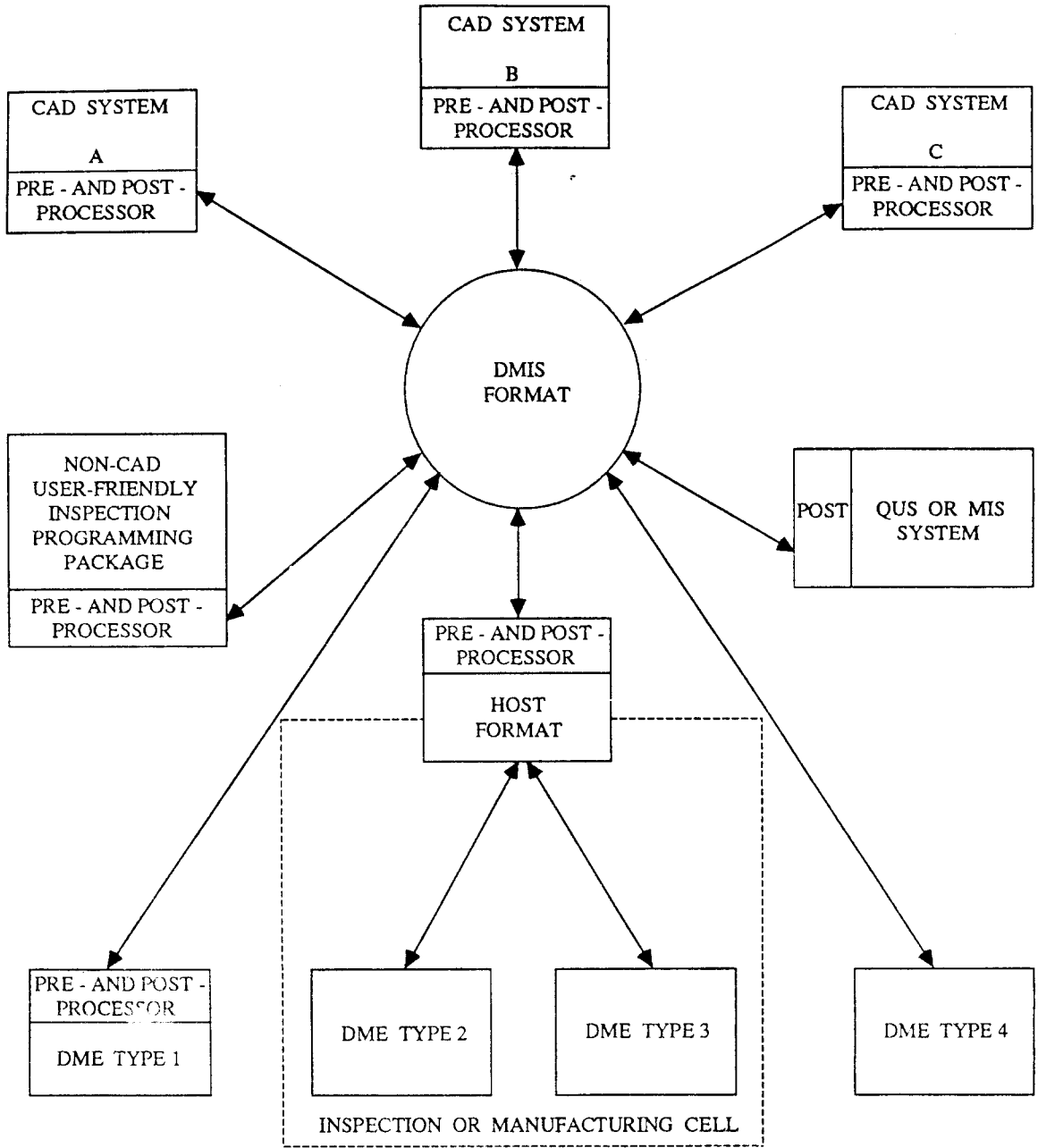


그림 6 DMIS ENVIRONMENT

DMIS 기능을 보유한 CAD system 을 공급할 수 있는 업체는 IBM, Computer Vision, Prime, Intergraph, CimLink, McAuto (McDonnell Douglas), Calma 등이다.

5. CAT 시스템에서의 Software

5.1 QUINDOS (Quality Inspection of Dimensional Objects and Sizes)

종래의 CMM은 그 시스템 내에서만 모든 data를 처리해 외부의 computer와는 communication이 이루어지지 않았으나 독일의 Leitz 사에서는 이와는 다르게 외부 computer 와 data 교환이 가능한 QUINDOS software를 개발하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이 CMM은 x,y,z 의 좌표치만 읽어들이고 그 data의 처리와 평가는 QUINDOS에서 이루어지고 있다 [9]. 게다가 QUINDOS에서 LAN등을 이용해 타회사의 CMM, CAM, CAT, CIM 등과 on-line으로 communication이 가능하다.

QUINDOS에서 사용 가능한 기능들은 다음과 같다.

- (1) geometric element 의 측정 - 평면, 원추, 직선, 점, cylinder, circle, sphere 등
- (2) Geometric tolerance의 평가 - flatness, straightness, circularity, cylindricity, perpendicularity, parallelism 등
- (3) 특수기계요소부품의 측정 - cam, cam shaft, gear 등
- (4) 생산, 측정기술자를 위한 program - best fit, statistics, graphics, 등
- (5) FA를 위한 program - CAD/CAM interface, LAN에 의한 data network, CAD에 의한 CNC simulation 등.

CAD와 QUINDOS간에는 측정시 면형상 data가 필요하다. 이러한 면형상 data 교환을 위하여 VDAFS 라는 VDA-Face Standard Interface가 개발되었다. CAD data가 VDAFS format으로 변환되면 QUINDOS에서 읽어들이 수 있고, 반대로 QUINDOS로부터의 data가 VDAFS format으로 변환되면 CAD system 에서 읽을 수 있게 된다.

또한 CAD 상에서 측정 programming이 가능하다. CRT 화면상에 probe head가 나타나면 user가 이 probe head 를 움직여 측정점을 그대로 program화시킬 수 있다. 이로 인해 CMM의 사용효율을 향상시켰으며 program 작성 error로 인한 CMM의 손상을 방지할 수 있게 되었다.

복수의 마이크로 프로세서의 병행사용에 의한 경로 제어

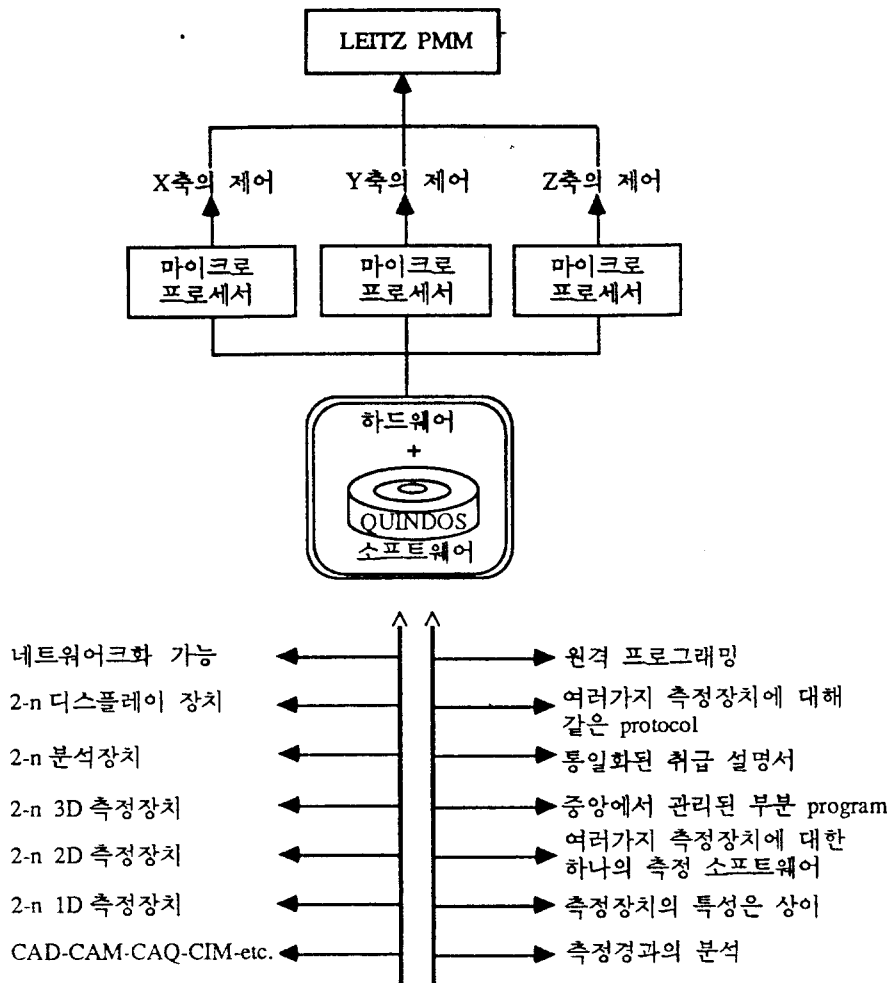


그림 7 QUINDOS의 기본개념

5.2 자이젯쿠스 Series

자이젯쿠스 P series의 특징은 CMM과 CAD/CAM을 결합하여 사용할 수 있는 점이다. 하나의 예로서 자동차 금형제조시 자이젯쿠스와 CAD/CAM이 결합된 사례를 들 수 있다 [11]. 그림 8에서 보는 바와 같이 clay model 또는 master work 이 주어지면 CMM을 이용하여 형상점들의 data를 수집하고 이 data를 CAD/CAM system에 보낸다. CAD/CAM system에서는 NC data를 생성하고 NC 공작기계에서 금형의 형상을 가공한다. 가공된 금형은 다시 CMM으로 측정하여 clay

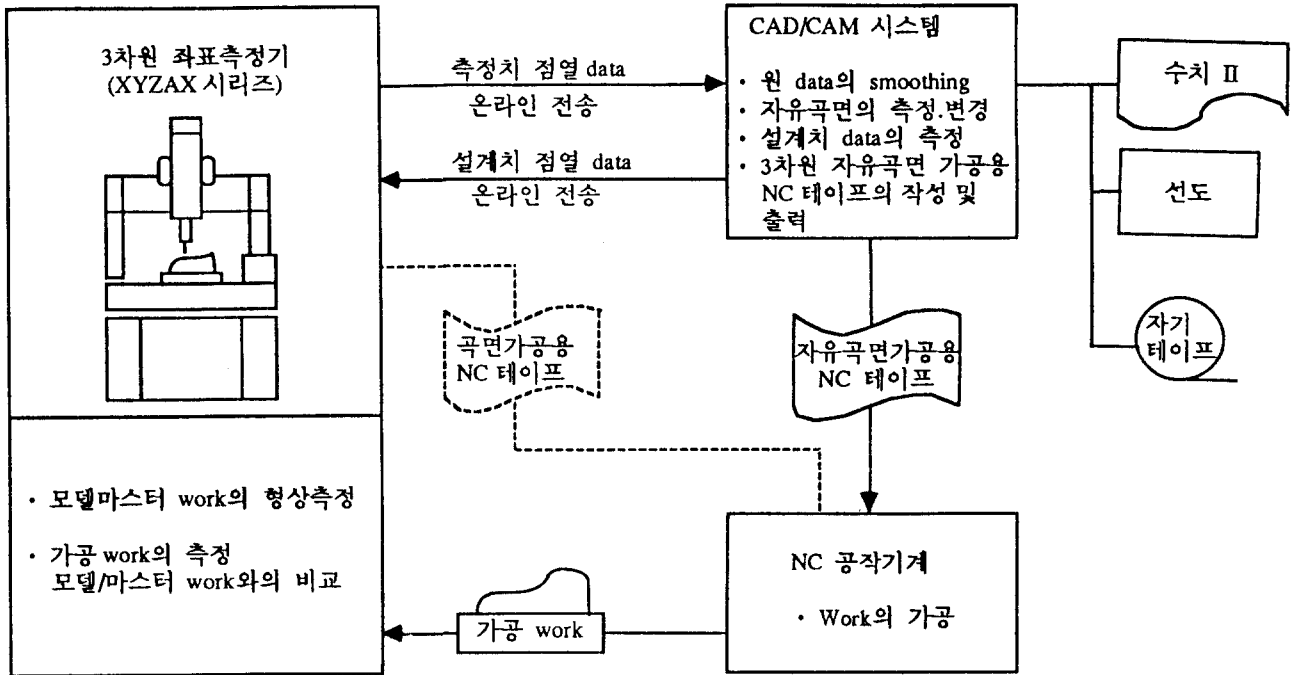


그림 8 어느 금형 메이커의 CAD/CAM과 CAT과의 결합사례

model 또는 master work와 비교하게 된다.

또한, CMM의 part program을 off-line programming 방식으로 작성할 수 있도록 PC를 이용해 CAD/CAM 과 CMM (자이아나 16D)을 연결하고 있다. PC는 CAD data를 IGES format으로 받고, off-line teaching으로 작성된 CMM 측정순서를 NDF (Neutral Data Format)로 바꾸어 CMM (자이아나 16D)으로 보낸다. CMM은 post processor를 이용하여 NDF data를 part program으로 변환시킨다.

주된 기능으로는 1) 도형정보입력, 2) collision avoidance를 위한 clearance 평면의 설정, 3) 복수의 동일한 hole을 연속측정하기 위한 retract 평면의 설정 등이다.

5.3 T-CAD III, TEX System

이 system들은 Nikon사에서 개발하여 Tristation에서 사용되는 off-line teaching system이다. T-CAD III는 숙련된 측정전문가가 이용하기 위한 것이고, TEX는 비전문가도 사용할 수 있도록 측정전문가의 knowledge가 저장된 expert system 이다. 이 시스템을 이용함으로써 CMM의 실가동율이 대폭 향상되며, teaching 시간의 1/5 정도로 단축되고, 작업의 간소화로 정도가 높은 측정이 가능하다. 두 system의

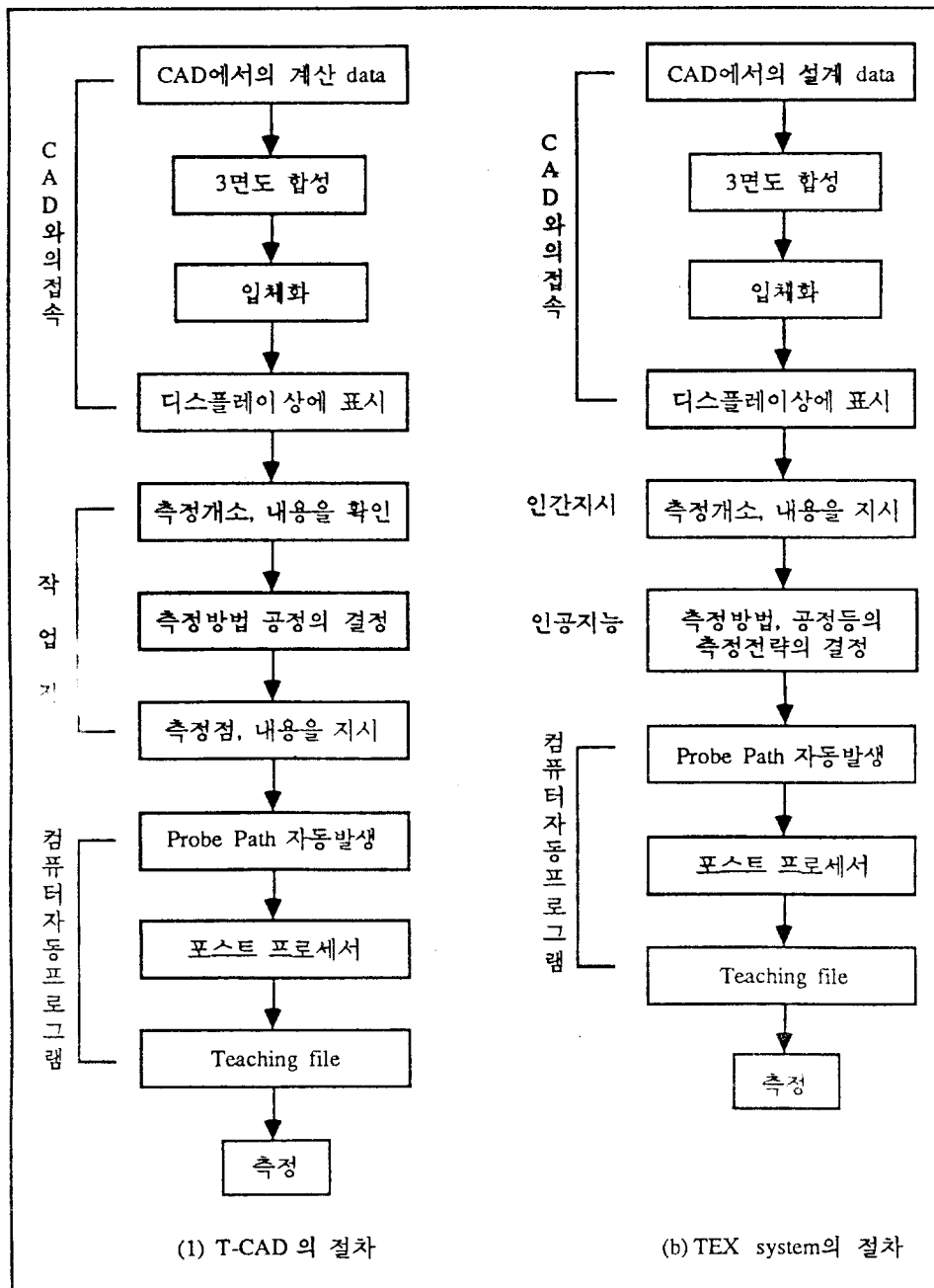


그림 9 T-CAD 및 TEX의 기본적인 off-line teaching flow

기본적인 off-line teaching flow는 그림 9에 요약되어 있다 [7]. 이 system들의 특징은 다음과 같다.

- 1) graphic display상에 표시된 측정물을 이용해 interactive방식으로 off-line teaching 을 한다.
- 2) CAD로부터 도면정보를 입력해 CAM으로 결과를 전송한다.
- 3) 피측정물의 형상을 solid model을 이용하여 인식하고 측정동작을 생성한다. 3면도를 합성하여 자동적인 3차원화를 실현하였다.

5.4 VALYSIS System

VALYSIS는 89년에 IBM에서 개발한 CAT software로서 CIM을 지원하기 위해 IBM용 CAD/CAM 및 제도용 CATIA 와 결합하여 운용된다. 이 software는 1) 설계검증, 2) 공차검증, 3) 품질기술, 4) 측정, 5) 통계관리 module로 구성되어 있다 (그림 10 참조). 각 module의 기능은 다음과 같다 [16,17].

1) 설계검증 module

- CAD model의 제도기호법, 형상공차가 설계표준(ISO, ANSI)에 맞는지 평가하는 CHECK 기능
- 형상과 공차에 근거하여 soft gage를 생성하는 GAGE 기능

2) 공차검증 module

- 부품이 조립될 경우 조립가능 여부를 soft gage를 이용하여 simulation을 한다.

3) 품질기술 module

- 부품형상마다 생성된 soft gage를 이용해서 측정경로를 자동생성
- CMM에서 측정된 data와 soft gage를 비교하여 불량여부 판정

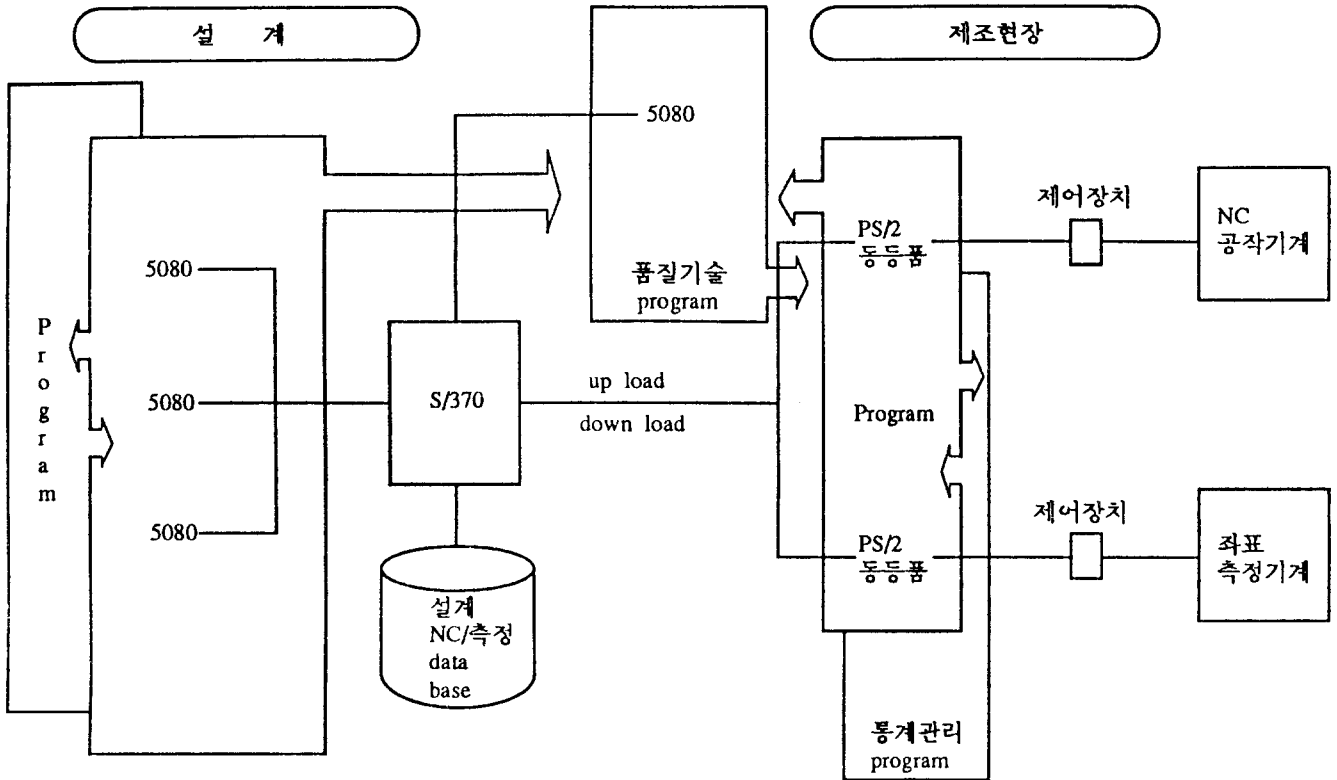


그림 10 VALISYS의 구성

- VALYSIS를 customize하기 위한 제어언어(VCL) 지원

4) 검사 module

- 생성된 측정경로를 이용하여 CMM 또는 검사장비를 가동시키는 지령을 생성
- CAD/CAM과 각종 검사장비와의 interface
- 측정결과를 soft gage와 비교하여 불량여부 판정

5) 통계관리 module

- 불량여부의 data를 이용하여 공정의 품질 감시, 관리도 작성

5.5 MCAT System

CAD data를 이용하여 off-line teaching이 가능한 시스템으로서는 미츠도요의 MCAT이 있다 (그림 11 참조 [10]). 이 시스템은 DEC사의 VAX series, HP 9000 model 등의 computer에서 이용되는 것으로서 1)

CAD 기능, 2) 측정정보 생성기능, 3) post processor 기능을 보유하고 있다.

CAD기능에는 자체적인 solid modeler를 보유하고 있으며 일반 CAD system으로부터 IGES data file 등을 이용하여 solid model을 생성

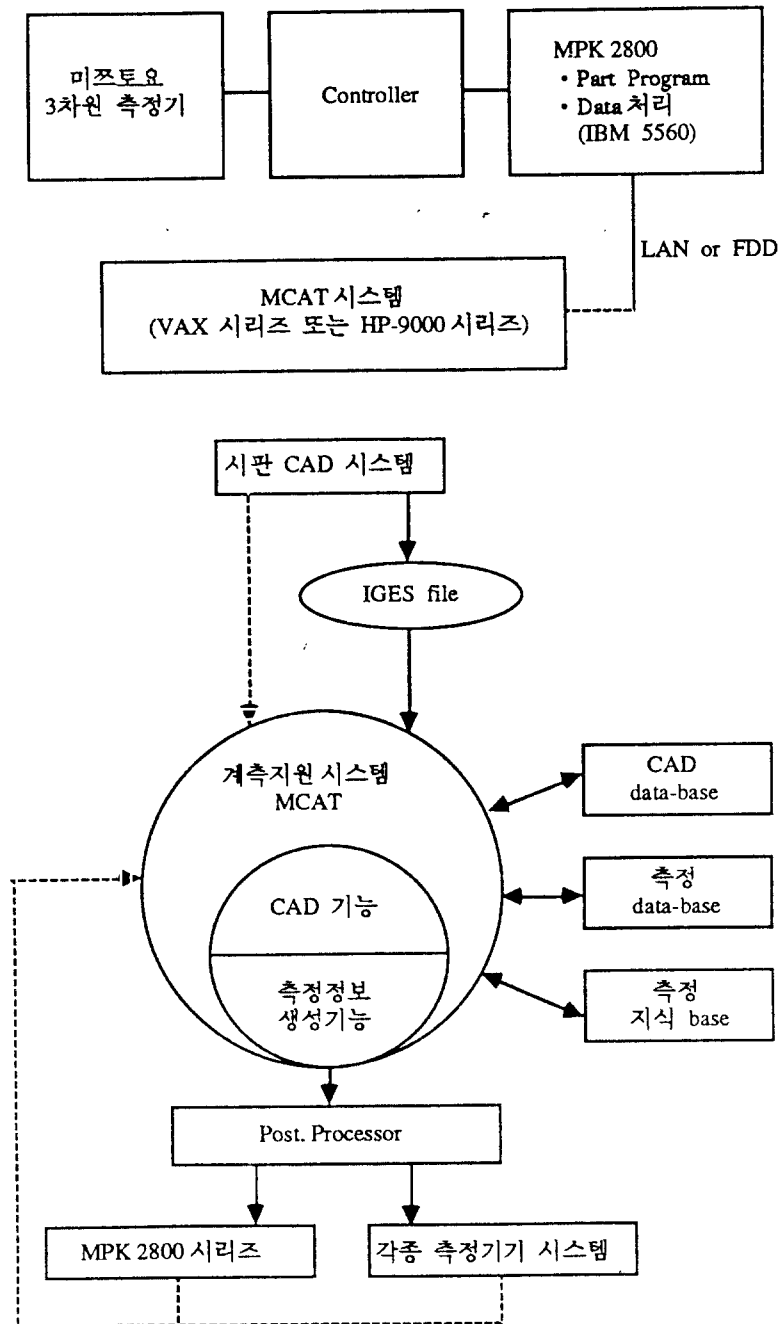


그림 11 MCAT 시스템의 하드웨어와 소프트웨어

할 수 있다. 또한, 각종 dimension 과 tolerance를 입력할 수 있다.

측정정보 생성기능은 3D geometry data 와 tolerance data를 이용하여 측정 probe path를 결정하는 것이다. CMM의 종류, 이동속도, probe정보, 좌표계정보 등의 측정조건을 설정하고, 어떤 면을 측정할 것인가라는 측정요소를 지정하며, 위치, 각도 등의 평가목적을 설정한다. 요소측정을 행할 때에는 적절한 work 좌표계를 측정해 두는 것이 기본이지만 좌표계를 결정하는 rule을 이용하기도 한다. 측정방법의 설정에는 주어진 측정점의 수를 만족하도록 측정점이 자동으로 배치된다. 이때에 probe와 측정물과의 collision을 피하기 위한 기능도 가지고 있다. probe path는 graphic display상에 나타내 보일 수 있다.

post processor기능은 특정의 CMM용 측정 program을 생성하는 것이다. 이 기능은 자동 NC programming 의 post processor 에 해당하는 기능이다.

5.6 MSURF System

이 system은 CMM에서 측정된 probe의 중심점 data를 이용하여 실제의 자유곡면을 생성해 계측평가를 하는 software이다. 실제의 자유곡면을 생성하는 process 가 그림 12에 요약되어 있다 [10].

MSURF는 1) 설계치가 없는 형상을 측정평가하고, 2) 설계치가 있는 형상을 측정해 설계치와 비교평가하는 기능이 있다.

6. 결 론

생산공정이 설계, 가공, 조립, 검사, 운반, 저장공정으로 이어지고 있으나 현재 검사의 자동화가 늦은 편이다. 특히 국내에서 이 분야에 대한 연구는 KIMM과 KIST에서만 수행되고 있는 실정이다.

업체에서 사용되는 CMM은 거의 모두가 실험실용으로 가동되고 있으며 가공라인에는 설치되어 있지 않다. 가공 후에 바로 현장에

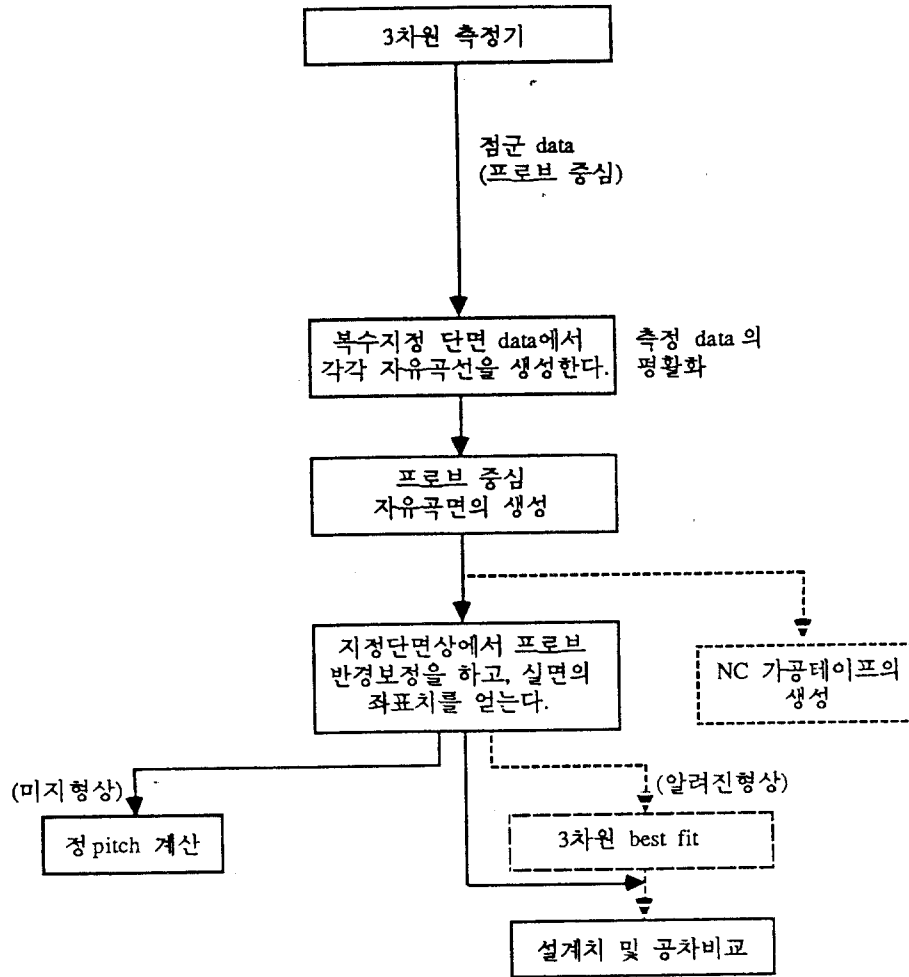


그림 12 MSURF 시스템에서의 자유곡면 data 처리 flow

서 측정이 되어야 측정의 자동화가 실현되었다고 말할 수 있다. 외국의 경우, 가공 현장에 설치되는 CMM도 실용화되어 있어 생산성 향상에 큰 몫을 하고 있으며 최근에는 FMS 라인에 설치된 경우도 있다 [13]. 이러한 경우에는 측정부품을 일정 위치로 이동시키는 rotary table, pallet changer 등이 필요하며 여러 부품에 대응하기 위해 probe 자동교환장치도 필요하게 된다 [18]. CMM은 온도, 진동, 먼지 등에 의해 정도가 변화하므로 이에 대한 보완 설비가 필요할 것으로 예상된다.

측정을 위하여 우선적으로 필요한 것은 dimension 과 tolerance 정보이다. 이 data를 측정계획 및 측정결과의 비교 등에 이용할 수 있도록 CAD system에 표현 및 저장하는 방식이 연구되고 있다. CAM-I에서는 ANSI Y14.5M에 근거하여 dimension 과 tolerance 를 표현할 수 있는 Evaluated Dimension and Tolerance (EDT) model을 개발하였으나 실용화하기 위해서는 더 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Cowling, G.J., Mullineux, G., "Toward an Intelligent CAD-CMM Interface," Engineering with Computers 5, pp133-141, 1989.
2. Dimensional Measuring Interface Specification, Version 2.1, CAM-I report R-89-DMIS-01, 1989.
3. Fenkner, Klaus, "Computer-aided inspection planning as part of a CAQ system in operation," Ball and Roller Engineering, Industrial Engineering(FAG) 28, pp12-18, 1989.
4. Hopp, T.H., "CAD-Directed Inspection," Annals of the CIRP, pp V33/1, 1984.
5. Kanai S., Kawamura, R., Kishinami, T., Saito, K., "The Computer-Aided Testing and Diagnostic Systems of the Manufacturing Process by Using the Coordinate Measuring Machine," Transactions of the 17th NAMRI of SME, pp311-318, 1989.
6. Keiji Ueda, "CAD-3차원측정기간의 상호 data 교환의 유효성," 기계와 공구(Japan), pp25-32, August 1988.
7. Masaharu Kawai, "Off-line Teaching 을 위한 T-CAD, TEX System," 기계와 공구(Japan), pp45-50, August 1988.

8. Oyama Eimei, Tachi Susumu, "Model-Based Image Measurement System,"
일본기계학회 논문집(C편), V56, N521, pp109-115, 1990.
9. Satoshi Matsumoto, "CIM에의 참여를 위한 Leitz QUINDOS," 기계
와 공구(Japan), pp33-37, August 1988.
10. Soichi Kadowaki, "계측지원 System MCAT와 자유곡면 측정평가
System MSURF," 기계와 공구(Japan), pp51-58, August 1988.
11. Toshiro Ikoma, "자이갓쿠스 PA Series와 CAD/CAM과의 대응," 기
계와 공구(Japan), pp38-44, August 1988.
12. Yoshimi Takeuchi, "3차원측정기와 CAD/CAM," 기계와 공구
(Japan), pp18-24, August 1988.
13. 首藤和男, "FA에서의 3차원측정기 시스템," Machinist (Japan),
pp63-67, August 1990.
14. 佐佐木豊春, "3차원측정기의 Off-line Teaching System," Machinist
(Japan), pp63-67, August 1990.
15. 竹内芳美, 清水弘幸, 向居郁夫, "CAD와 화상 data를 병용한 3차원
측정기의 자동측정," 일본정밀공학회지 V56/1, pp128-133, 1990.
16. 松本智, "CIM에 있어서의 3차원측정 System," 자동화기술 (Japan),
pp32-37, V22, N8, 1990.
17. 小林廣, "CAD에 3차원측정기를 통합한 CAQ System," 응용기계공학
(Japan), pp74-80, October 1990.
18. 中谷忠雄, "최근의 3차원측정기," 기계의 연구(Japan), V41, N1, pp23-
27, 1989.