

삼차원 측정기의 CAD/CAM 응용



● 1954년생.
● 산업공학을 전공했으며, 생산시스템 설계, 공장 자동화에 관심을 가지고 있다.

이 춘 식

한국기계연구소 자동화연구부



● 1961년생.
● 가공제어를 전공했으며, 가공시스템의 계측 및 검사·측정을 통한 시스템 생략화에 관심을 가지고 있다.

김 선 호

한국기계연구소 자동화연구부

1. 머리말

최근 제조업을 둘러싼 환경변화에 대응하기 위한 노력의 일환으로 공장자동화가 활발히 추진되고 있다. 그 중에서 특히 눈에 띄는 것은 설계, 가공, 조립, 검사, 관리 등에의 컴퓨터 응용으로 설계, 가공분야의 CAD/CAM(computer aided design/computer aided manufacturing)을 비롯해 공정설계에서의 CAPP(computer aided process planning), 엔지니어링에서의 CAE(computer aided engineering), 검사에서의 CAT(computer aided testing) 등 다양한 분야에서 컴퓨터 지원시스템이 구축되고 있다.

제조현장에서의 시장 수요의 다양화, 제품수명의 단명화에 따라, 다양한 부품의 중소량 생산을 유연자동화 설비에 의해 고품질, 경제적으로 생산하기 위한 유연생산시스템(FMS; flexile manufacturing system)의 구축과 더 나아가 컴퓨터 네트워크를 통해 수주에서 출하까지의 전과정을 통합하려는 컴퓨터 통합 생산시스템(CIM; ocmputer integrated manufacturing)도 향후의 목표로 제시되고 있다. 이렇게 생산공정을 구성하고 있는 설계, 가공, 조립, 검사, 관리 각 부문에의 컴퓨터 응용 및 통합에서 상대적으로 자동화가 지연되고, 통합

화에서 제외되었던 부문이 검사부문이다. 이의 원인으로는 여러가지를 들 수 있겠으나, 타 부문에 비해 검사측정용 기기에 컴퓨터 기술의 응용 역사가 짧고, 검사, 측정 부문 고유의 컴퓨터 응용기술의 확립에 시간이 필요했던 것이 주요한 것으로 사료된다.

범용적이고 유연성이 높으며, 고정밀도, 생략화에 효과가 뛰어나 측정기로 높이 평가되어 널리 쓰이고 있는 3차원측정기(CMM; coordinate measuring machine)도 지금까지는 수작업기가 대부분을 차지하여 FMS나 CIM체제 밖에 둘 수 없는 실정이었으나 80년대 이후로 CNC(computer numerical control)식의 CMM의 등장으로 말미암아 수치제어에 의해 자동측정이 가능하게 되어, 검사의 자동화와 더불어 통합가능 부문으로 인식되게 되었다.

이 글에서는 CMM의 효율적 이용과 자동화 및 설계, 가공부문과의 통합화를 위한 현재의 기술현황을 개괄해보고자 한다.

2. CMM 자동화의 방향과 현황

CMM은 피측정물과의 접촉(때로는 비접촉)을 검지하는 프러브(probe)가 달려 있어 피측정물의 치수와 기하학 양을, 검지신호를 받은 시점에서의 접촉점의 공간적 좌표값(X,Y,Z)으로 변환하는 것을 기본 기능으로 하는 측정기

이다. 또한 얻어진 좌표값에서 필요한 치수와 기하학 양을 산출하기 위한 데이터 처리장치와 연결되어 있어 방대한 데이터의 고속처리뿐 아니라, 피측정물의 형상을 좌표값의 집합으로 변환시킬 수 있으므로 여러가지 형상측정에 사용할 수 있어 범용성이 높다. 현재의 CMM은 수 μm 오차범위 내에서 사용이 가능하며 보급형의 경우는 $10\mu\text{m}$ 정도의 오차범위 내에서 사용되고 있다. CMM을 사용하여 형상을 측정하는 경우의 일반적인 작업 순서를 그림 1에 보여주며 자세한 설명은 아래와 같다.

1) 측정항목의 추출

CMM으로 측정할 요소를 지정하는 단계로 점, 직선, 원, 평면, 원통, 원추 등의 요소가 준비되어 있는 경우가 많다. 이들은 직선, 원 등과 같이 투영면이 필요한 평면요소와, 투영면이 필요치 않은 입체요소로 대별된다.

2) 투영면 결정

평면요소가 선택된 경우, 투영면으로 가장 적합한 평면을 정한다.

3) 측정 코드 결정

측정요소 혹은 이들의 조합에 따라 필요한 CMM 측정 코드를 결정한다.

4) 측정점 패턴 결정

측정목적, 피측정물의 형상, 크기, 가공법에 따라서 측정점 수와 측정 패턴을 결정한다.

5) 측정점 위치, 프리브 각도 결정

측정요소에 대해 적절한 측정점 위치, 프리브 각도를 결정한다.

6) 중간점 위치 결정

측정에는 직접 관계되지 않으나, 프리브의 이동에 필요한 중간점을 결정한다.

2.1 측정 작업의 효율화

수작업 CMM기를 써서 수작업으로 측정하는 경우는 이들 각 단계가 작업자에 의해서 행해지게 되나 CNC방식의 CMM을 사용한 자동 측정은 미리 작성된 CMM 자동 측정용 프로그램에 의해 수행된다. CNC CMM에서의 측정작업은 피측정물을 테이블 위에 두고, 도면

을 보면서 측정점과 프리브이동 경로를 CNC 제어장치에 티칭(teaching)해 파일(file)화한 것을 사용한다. 실제의 측정은 이 파일을 불러내어 플레이 백(play-back)함에 의해 수행된다. 이와 같이 티칭 플레이 백 방식으로 CMM

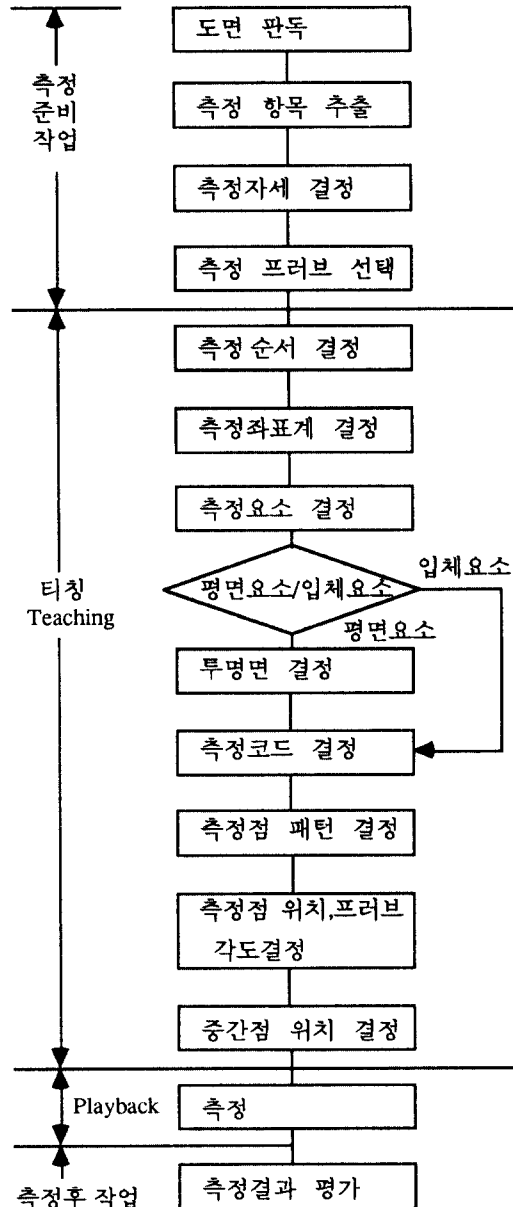


그림 1 CMM 사용 측정시 일반적인 작업순서

상에서 측정경로를 온 라인(on line)으로 작성하는 경우 다음과 같은 문제점이 생긴다. ① 피측정물이 다품종 소량생산되는 경우 티칭 작업이 증가해 CMM을 장시간 사용하게 됨에 따라 CMM의 본래의 목적인 측정에만 전용할 수 없어 측정 능률 향상에 중대한 애로작업이 되고 있다. 실제로 다품종 소량생산공장이나, 시제품 가공공장의 경우 CMM에 의한 측정에 소요된 전체 작업시간중 80% 이상이 티칭 등의 준비시간으로 소비되고 있는 실정이다. ② 피측정물이 물리적 형태를 띠지 않은 경우 측정 프로그램을 작성할 수 없다. ③ CNC CMM 자동측정 프로그램의 작성에 숙련된 측정업자가 필요하다.

이상의 문제점을 해결하기 위해서 CAM시스템이 CAD데이터를 이용해 NC 가공프로그램을 작성하는 것과 마찬가지로 CMM 자동측정 프로그램을 직접 CMM을 사용하지 않고 오프라인(off-line)으로 작성할 수 있는 시스템이 상용화되고 있다. 일부 상용화 시스템 중에는 CMM 오프 라인 프로그래밍시 작업자의 경험에 의존하는 부분인 측정공정 설계 및 측정 작업 설계까지도 자동화하려는 시도로 숙련된 CMM 전문가의 지식과 경험을 인공지능 기법을 적용해 전문가 시스템 형태로 만들어 자동화의 범위를 확장하고 있다. 이에 대해서는 뒤에서 설명할 예정이다.

이상의 CMM 오프라인 프로그래밍 방식은 프리브의 측정 경로 생성에 CAD데이터를 활용하고 있다. CAD화되어 있지 않은 제품(부품)의 측정경로를 자동으로 생성하기 위한 노력의 하나로 도면 대신 화상을 형상입력 수단으로 활용하려는 연구도 행해지고 있다.⁽²⁾ 피측정물을 CMM의 측정 테이블에 두고 ITV(industrial television) 카메라에 의해 피측정물의 형상을 화상데이터로 변환한 후 화상처리, 형상인식을 거쳐 측정경로가 생성되나 제한된 형태의 형상만이 인식이 가능한 실정이다.

2.2 CAD/CAM/CAT의 통합

종전의 제조현장에서의 정보전달은 도면을 매개로 하고 있었다. 즉 제품기획 단계에서 제품의 사양이 결정되면 개념설계안이 설계자의 손을 거쳐 상세 설계되고 도면의 형태로 구체화된다. 이후 단계인 공정설계, 가공뿐 아니라 측정이 주 업무인 검사 공정도 도면의 시방에 따라 여러가지 항목이 측정되고 결과가 설계, 가공 업무로 피드백(feed back)되었다. 최근 CAD/CAM시스템의 보급에 따라 도면이 CAD데이터의 형태를 띠게 되므로 이를 매개로 CAD/CAM시스템과 CAT시스템이 연결될 것으로 사료된다. CAD데이터의 상호이용에 의한 CAT시스템과 CAD/CAM시스템을 통합운영하는 방법으로는 다음과 같은 형태를 생각할 수 있다. 첫째는 가장 일반적인 형태로 피측정물의 형상이 CAD시스템에 의해 설계되어 있는 경우 설계 시방과의 합치 여부를 확인하기 위해 피측정물의 표면형상데이터를 CMM으로 전송해 측정검사를 위한 기준값으로 사용하는 형태로 여기서 CMM에 구한 형상의 측정값은 검사정보로 이용된다. 둘째는 CAD/CAM시스템에서 CAT시스템으로 정보가 전달되는 앞의 형태와는 달리 CAT시스템에서 CAD/CAM시스템으로 정보가 전달되는 형태이다. 모델을 CMM으로 측정해 측정 점군 데이터를 기본으로 금형을 제작하는 경우와 같이 수학적으로 표면형상을 파악하기 힘든 임의 형상의 피측정물을 CMM에 의한 측정값을 출발점으로 해 CAD/CAM시스템에 의해 모델링하고 NC가공 프로그램을 작성해 모델의 형상을 가공한 후 첫번째의 이용형태로 피가공물을 측정, 검사한다. 이 형태의 이용방법에 관한 상세한 사항은 참고문헌을 참고하기 바란다.⁽³⁻⁵⁾ 두 가지 형태 모두 CMM에 의한 측정결과를 CAD/CAM시스템으로 피드백해 설계데이터의 해석과 도면의 수정이 가능한 형태나, 더 나아가 피측정물의 측정결과 설계시방을 만족하지 않은 경우 측정결과를 검토해 가공공정의 적합성, 가공오차의 원인 추정과 이에 따른 오차보정을 위해

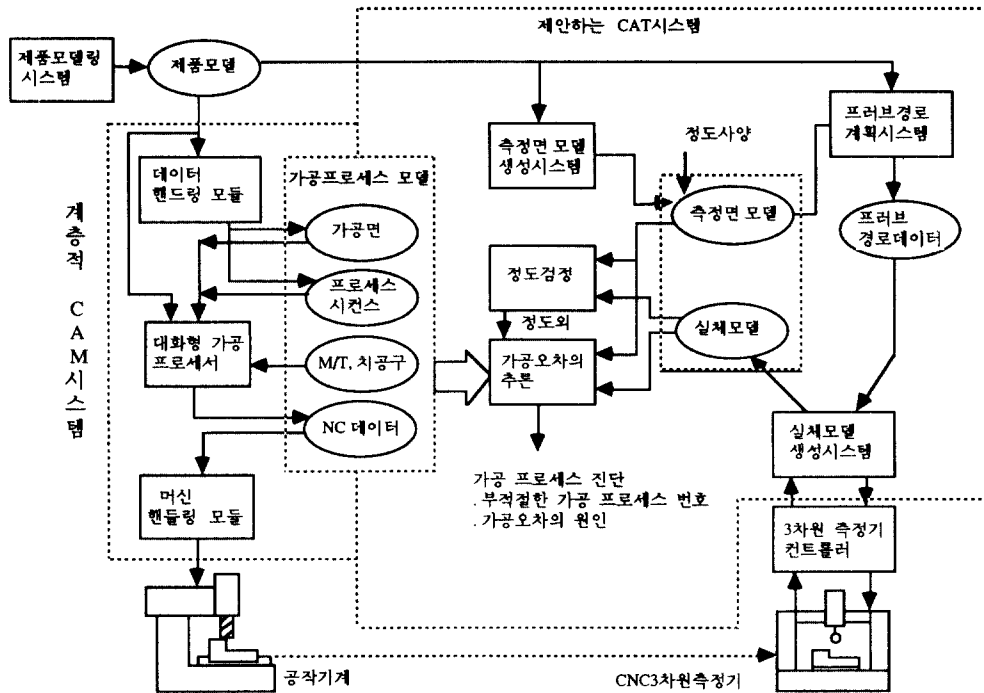


그림 2 CAT/CAM 통합화 시스템 구조

CAM시스템에 피드백이 가능한 형태로 확장될 수 있다. 이러한 확장된 형태로 제안된 CAD/CAM/CAT 통합시스템의 예를 그림 2에 보여 준다.⁽⁶⁾ CAD시스템에서 정의한 형상 모델을 참조해 CAM시스템에서는 가공면 생성, 가공 기준면지정, 가공순서 결정, 가공면 별 공구선택, 공구경로가 생성되며 이 때 CAT에서 사용될 측정면 모델이 구해진다. CAT시스템은 이 측정면 모델의 생성부, 측정 항목 검증부, 실체모델 생성부, 측정경로 계획부, 가공오차 원인추론부로 구성되어 있다. 이 시스템은 인공지능어인 LISP로 기술된 가공오차 원인추론부에 특징이 있고 실체모델과 측정면 모델의 비교로 불합격 항목이 나오면 부적합 공정과 가공오차 요인(NC데이터 오류, 공구변형 등)을 차례로 추론해 출력한다. 이에 의해 가공 후 측정데이터가 가공공정에 실시간적으로 피드백되어 공정내에서의 형상 수정이 가능하게 된다. 이 시스템의 대상 가공물의 형상은

원통면과 평면으로 구성된 것에 한정되고, 가공오차의 요인은 기하학적인 것에 한정되는 등 여러 제약조건을 가지고 있으나 CAD/CAM/CAT을 통합하려는 기술추세를 반영하고 있다.

3. CMM과 CAD/CAM 인터페이스

3.1 CAD를 이용한 오프라인 프로그래밍

CMM 자동측정 프로그램은 프리브가 통과하는 점(중간점), 피측정물에 접촉해 측정하는 점의 좌표값, 피측정물의 기하형상요소의 종류와 이들에 따른 부가적인 계산지시, 각종 모드 설정 등의 명령으로 구성되어 있다. 수작업에 의해 자동측정 프로그램을 작성할 경우 이들 코드와 관련 정보를 입력해야 한다. 이때의 문제는 피측정물의 형상에 관한 데이터를 가지고 있지 않으므로, 작업자가 도면을 보고 프리브의 이동경로를 정의하기 위한 중간점과

접촉점 (probing point)의 좌표값을 일일이 입력해야 한다는 것이다. 여기서 CAD 도면정보, 즉 피측정물의 형상에 관한 CAD데이터를 사용하면 작업자가 CRT(cathod ray tube)에 표시된 피측정물에 대해 측정항목과 장소를 대화식으로 입력함에 의해 측정점 패턴 결정, 측정점의 위치와 프러브의 각도 결정, 중간점의 결정 등에 작업자가 개입하는 부분이 적어져 효율적으로 자동측정 프로그램을 작성할 수 있을 뿐 아니라 측정 요소 사이의 최적 프러브 경로 결정, 프러브와 피측정물과의 간섭 여부 확인과 방지, 작성된 프러브 이동경로와 동작을 CRT상에서 애니메이션함에 의한 측정프로그램의 검증이 가능하게 된다. 이에 따라 CAD시스템을 사용하여 부품(제품)을 설계할 때 부품의 기능, 가공방법뿐만 아니라 검사방법까지 고려해 설계업무를 진행시킬 수 있게 되며, 측정결과를 CMM에서 CAD/CAM시스템에 전송하여 표시함으로써 시제품 또는 모형을 만들어 CMM상에서 티칭할 필요가 없어짐으로 인해 시제품 완성 후 바로 검사를 할 수 있는 이점도 추가된다. 일부 상용화 시스템 중에는 CMM 오프라인 프로그래밍에 의해 자동 측정프로그램 작성시에 작업자의 경험에 의존하는 부분인 측정공정 설계 및 측정작업 설계를 숙련된 CMM전문가에 관한 지식과 경험을 인공지능 기법을 적용해 전문가 시스템 형태로 만들어 자동화의 범위를 확장하고 있다. (1,7,8) 이 시스템에서는 상용 CAD시스템의 데이터로부터 피측정물의 2차원 데이터를 받아 그림 3과 같은 절차를 거쳐 3면도를 합성하여 솔리드 모델(solid model)을 작성하고 일반적인 상용 CAD 데이터에서 추출할 수 없는 공차, 표면 거칠기, 재질, 기준면, 가공법 등의 기술정보를 대화식으로 입력한다. 입력된 기술정보는 각각 정밀도, 형상요소, 측정요소, 측정환경에 관련된 것으로 대분류된 후 프레임(frame) 형식으로 정리된다. 이상이 작업자에 의존하는 부분이고 그 후의 작업은 전문가시스템에 입력된 숙련작업자의 경험 규칙에 의해 자동결정된

다. 경험규칙은 일반 상식적인 규칙, 경험규칙, 규칙군의 적용규칙(metarule) 등 규칙군

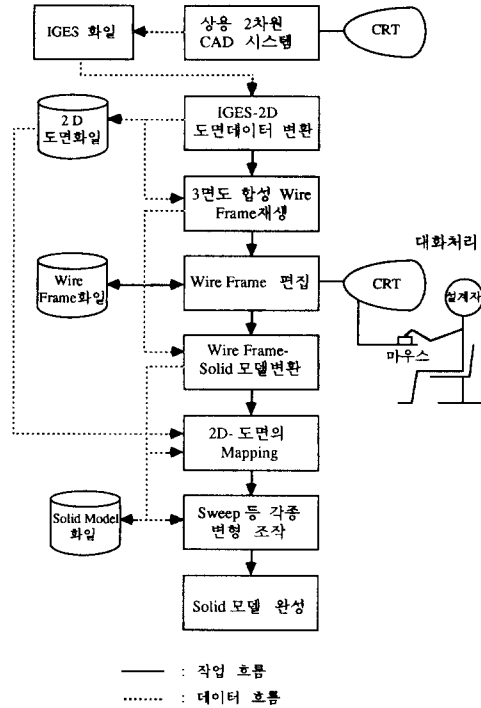


그림 3 3면도 합성에 대한 Solid모델 생성

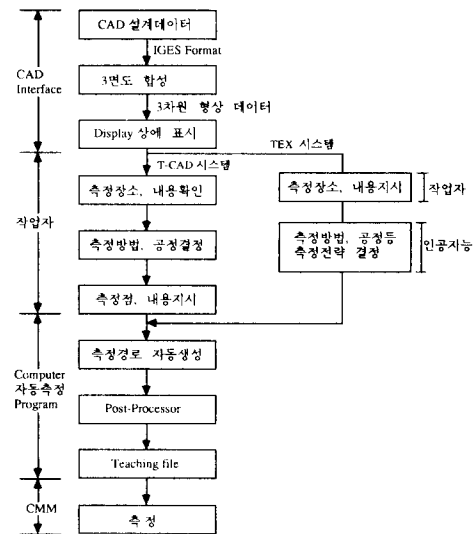


그림 4 CAD를 이용한 CMM off-line 프로그래밍

으로 분류되어 측정요소 결정, 투영면 결정 등에 사용된다. 전문가시스템의 추론에 의해서 측정경로가 자동적으로 작성되며 그 내용은 측정에 필요한 코드 측정점, 중간점 좌표값, 프리브 각도 등이다. 프리브 각도의 결정에는 프리브 본체와 피측정물의 간섭이 고려되어 있다. 이후 포스트 프로세서를 거쳐 최종적으로 CMM자동측정용 티칭파일이 구해진다. 아래 그림 4는 Nikon에서 개발된 상용 시스템으로 이상의 CAD 인터페이스에 의한 일반적인 CMM 오프라인 프로그래밍 절차(T-CAD시스템)와 인공지능이 첨가된 형태(TEX 시스템)의 절차를 나타내 주고 있다.⁽⁷⁾ 그림 4와 그림 1을 비교해 보면 CAD 인터페이스 CMM 오프라인 프로그래밍에 의해서 CMM 자동 측정 프로그램을 보다 효율적, 지능적으로 작성할 수 있음을 알 수 있다.

3.2 CMM 계측지원시스템^(7~12)

CMM 계측의 효율화를 위해서는 앞서 설명한 CMM자동 측정 프로그램의 작성을 위한 오프라인 프로그래밍 이외에도 관련업무의 효율화를 위한 여러가지 지원 소프트웨어가 필요하다. 상용시스템 개발회사, CMM 제작업체에서 작성된 CMM 계측지원시스템의 상세한 사항은 사용하는 컴퓨터, 사용장비 등에 따라 차이가 있으나 기본적으로는 ① 형상 자동 측정 프로그램 작성 지원, ② 통계처리, ③ 특수 기계요소 부품(캠, 기어, 터빈블레이드 등) 측정지원, ④ 기타 CAD/CAM데이터 인터페이스, LAN에 의한 기기간 통신지원 기능을 가지고 있다. 한 예로 Mitutoyo의 3차원 측정지원 시스템인 MCAT 소프트웨어 구성은 그림 5와 같으며, 기능을 살펴보면 다음과 같다.⁽¹²⁾

(1) CAD 기능

피측정물의 형상 자동측정 프로그램을 작성하기 위한 피측정물 형상은 상용 CAD시스템과의 인터페이스나 MCAT 내부의 도형작성 기능에 의해 작성될 수 있다. MCAT의 경우 피측정물은 내부적으로 3차원 서피스(surface)

나 2차원 와이어 프레임으로 모델링되어 측정 프로그램의 작성에 이용된다. 상세한 인터페이스 형식은 3.3을 참조바란다.

(2) 측정정보 작성기능

CMM 오프라인 프로그래밍에 의한 측정정보를 작성하는 기능으로 측정환경 설정, 측정요소 결정, 측정 좌표계 결정, 측정 방법, 측정점 패턴 결정과 간섭 확인, 측정 프로그램 편집 기능 등이 포함되어 있다. 측정프로그램 편집 기능에는 측정정보의 추가, 삭제와 프리브 경로를 정적, 동적으로 표시하는 기능이 포함되어 있다.

(3) 사후처리기

CAM시스템의 사후처리기(post processor)에 해당하는 기능으로 MCAT에 의해서 작성된 측정프로그램을 특정한 CMM용 측정프로그램으로 변환한다.

3.3 자유곡면 데이터 처리

CMM과 CAD/CAM 인터페이스는 금형의

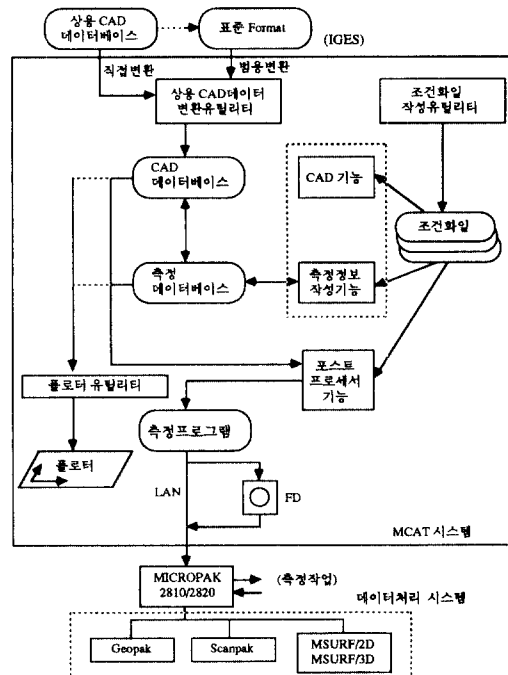


그림 5 MCAT 소프트웨어 구성도

코어, 캐비티와 같은 자유 곡면데이터의 처리에 특히 필요하다. 자유곡면으로 정의된 면의 경우, 평면, 원추, 원통 등 수학적으로 정의할 수 있는 면과는 달리 표면 좌표값을 세밀하게 정의해야 하므로 데이터의 양이 많아진다. 이 데이터를 CAD/CAM 시스템에서 CMM에 전송함에 의해 입력시간 절감과 설계값과의 공차 비교가 가능하고, 반대로 설계값이 없는 미지형상 피측정물의 CMM 측정값 점군데이터를 CAD/CAM 시스템에 전송해 3차원 자유곡면 모델 형태의 설계데이터와 NC 가공 프로그램을 작성할 수 있다.^(3,4) 그림 6은 이러한 용도로 상용화된 Mitutoyo의 MSURF시스템에서의 업무 흐름을 나타낸 것이다.⁽¹²⁾

3.4 인터페이스 데이터 형식

CMM 계측지원 시스템과 상용 CAD시스템 상호간의 피측정물 형상 데이터는 표준 형식(format)을 경유하는 범용변환 방식과 상용 CAD 데이터베이스로 직접 변환하는 방식으로 교환된다. 표준 형식으로 IGES(initial graphics exchange specification)이 일반적이며 LEITZ사의 QUINDOS나 Carl Zeiss사 등과 같이 VDA(verband der automobilindustrie) 면 데이터 통신 인터페이스를 사용할 수 있는 경우도 있다. 최근에는 ANSI 규격으로 1990년 제정된 DMIS(dimensional measuring interface standard) Ver 2.0이 새로운 표준 형식으로 대두되고 있다.^(13,14) 범용변환 방식에 의한 데이터 교환시에는 표준 형식과 CMM 계측지원시스템 내부에서 사용하는 데이터 형식과의 상호변환 과정이 필요하다. 앞의 그림 3은 Nikon사의 T-CAD, TEX 시스템에서의 CAD데이터 변환과정을 보여주고 있으며,⁽⁷⁾ 그림 7은 MCAT시스템 내에서의 CAD데이터 변화과정을 보여주고 있다.⁽¹²⁾ 그림 7에서 a는 상용 2차원 CAD시스템에서 범용변환(IGES) 또는 직접변환에 의해 2차원 와이어 프레임 모델을 만드는 방법이며, 이 방법은 MCAT 내부의 도형작성 기능을 사용해 2차원 와이어 프

레임 모델을 3차원 서피스 모델로 재구성하는 방법과 2차원 와이어 프레임 모델을 그대로 조작하는 방법으로 나뉜다. b는 상용 3차원 CAD시스템에서 직접변환에 의해 3차원 서피스 모델을 만드는 방법이며, c는 MCAT 내부의 도형작성 기능을 사용해 3차원 서피스를 구축하는 방법을 나타낸다.

직접변환 방식으로는 Carl Zeiss사의 측정지

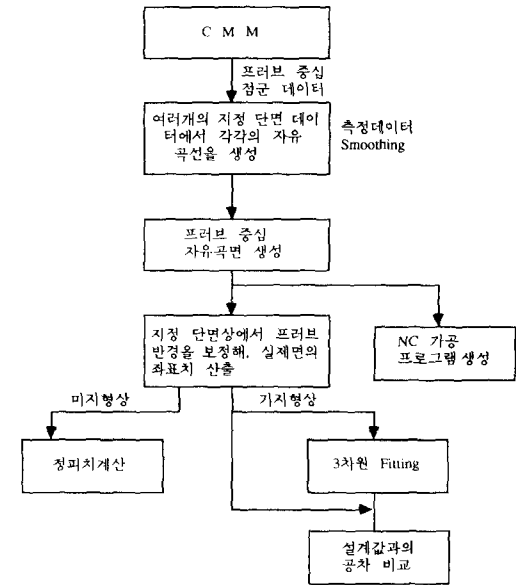


그림 6 자유곡면 데이터 처리의 흐름

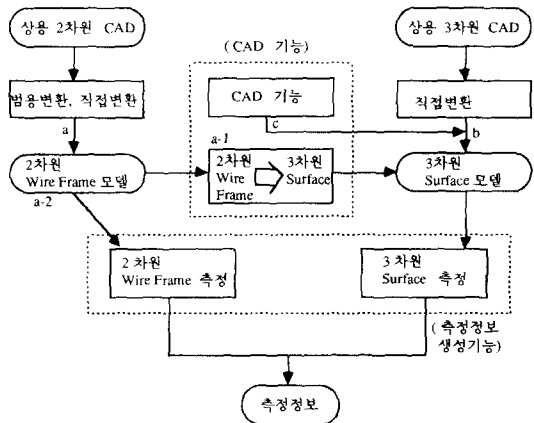


그림 7 CAD 데이터의 이용형태

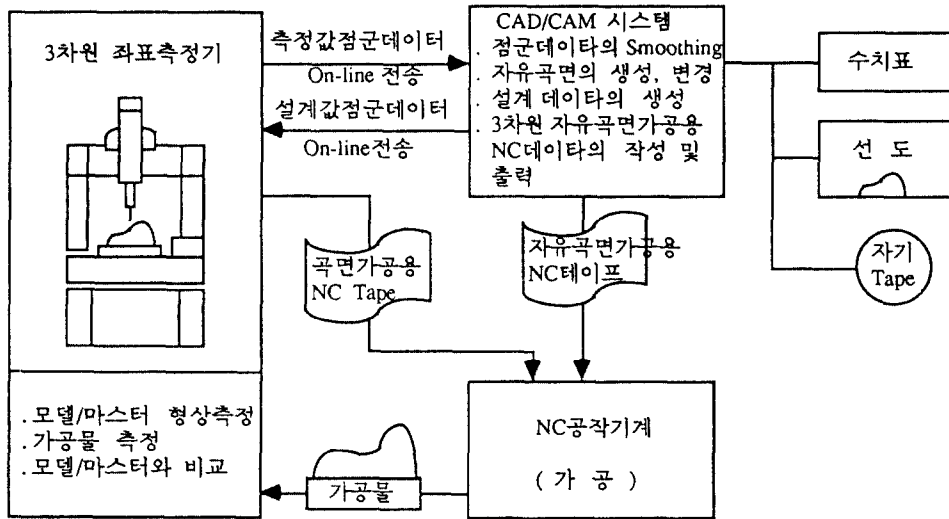


그림 8 금형제조업체의 CAD/CAM 시스템 예

원 시스템과 CADD, Calma, DDM, CADAM, CATIA 사이, Mitutoyo의 MCAT시스템과 CATIA, CADAM 사이에서 사용되고 있다. (9,12)

CMM 측정지원시스템에서 작성된 자동측정 프로그램은 대개의 경우 CNC CMM 제어프로그램으로 직접 사용할 수 없다. 자동측정 프로그램의 CMM 제어 프로그램으로의 변환은 측정지원시스템 사후처리를 사용하는 방식과 자동측정 프로그램을 표준 형식으로 변환한 후 이를 CMM에 전송해 CMM에서 제어프로그램을 작성하는 방식이 있다. 이때의 표준 형식으로는 CMM 제조업체의 단체인 CMMA에서 제정한 NDF(neutral data file)가 사용되고 있다.

3.5 CMM과 CAD/CAM 인터페이스 예

그림 8은 일본 자동차 관련 금형제조업체에서 CMM과 CAD/CAM을 접속(interface)한 한 예를 나타낸 것이다.⁽¹¹⁾ 자동차관련 금형제조업체에서는 금형제작의 수주시에 진흙 형상을 받는다. 이때 CMM을 사용하지 않는 경우에는 모델을 선도의 형태로 도면화하고 이를

기초로 CAD/CAM시스템에 의해 곡면을 생성하고 NC 프로그램을 작성한 후 금형을 가공한다. 이상의 업무 흐름에는 다음의 문제점이 내포되어 있다. ① 선도에 의한 형상 모델링은 직선, 원호의 조합으로 모델을 근사화한 것에 불과하므로 모델형상을 충실하게 표현한 것은 아니다. ② 설계가 변경되면 선도를 변경한 후에야 금형을 수정할 수 있으므로 시간이 많이 소요된다. 이러한 문제점은 CMM을 사용하여 모델을 측정된 후 형상 점군데이터를 온 라인(on-line)으로 CAD/CAM시스템에 전송하여 정확히 모델링함으로써 해결이 가능하다. 또한 CAD/CAM으로 작성한 3차원 자유곡면 모델의 임의단면 데이터를 CMM에 전송할 수 있어 금형에 의해 만들어진 제품과 모델 형상과의 합치여부를 검증할 수 있고, CMM 측정 경로를 지시하기 위한 데이터로도 사용할 수 있다.

4. 맺음말

이상에서 본 바와 같이 CMM과 CAD/CAM 접속(interface)은 ① CMM의 가공물 향상과

자동측정 프로그램 작성의 효율화, ② 피측정물 측정 기준값의 효율적 작성, ③ CMM의 측정결과와 피드 백에 의한 데이터 해석과 설계시방, 도면의 수정, ④ 설계되지 않은 미지형상의 피측정물을 측정해 CAD/CAM시스템에 의한 모델링과 NC 가공 프로그램의 작성을 주목적으로 하여 진행되고 있다. 향후 생산라인 내의 검사 스테이션으로 사용될 수 있도록 CMM 자체의 제약 극복과, 공장자동화를 위한 요소 기술, 기계와의 접속(interface) 기술개발에 의해 설계, 가공공정에 비해 상대적으로 낙후되어 있는 검사공정의 자동화와 타부문과의 통합화가 촉진될 것으로 전망된다.

참고문헌

- (1) 岡本英明, 1989, "AIは機械設計をどう變えるか, 精密測定分野への適用," 機械設計, 第33卷, 第1號, pp. 63~67.
- (2) 竹内芳美, 清水弘幸, 向居郁夫, 1990, "CADと晝像テ-タお併用した自動測定," JSPE, Vol. 56, No. 1, pp. 128~133.
- (3) Lee, A.C., Chen, D.P. and Lin, C.L., 1990, "A CAD/CAM System from 3D Coordinate Measuring Data," INT. J. PROD. RES., Vol. 28, No. 12, pp. 2353~2371.
- (4) Keytack, H. Oh, James, M. Daschbach and Robert, J. Abella, 1989, "CMM Application in Reverse Engineering-Integrating CMM with CAD/CAM for Existing Parts without Drawings," SME Technical Paper MS89-529.
- (5) Lee, S.S.G., Loh, N.H. and Tam, S.G. 1989, "Computer-Integrated Design, Fabrication and Inspection of a 3-D Curved Surface," Journal of Mechanical Working Technology, Vol. 20, pp. 171~180.
- (6) 金井 理, 川村龍太郎, 岸浪建史, 1988, "CAT/CAM 統合システムの開發(第1報)-システムの基本構造-, " 精密工學會 春季學術講演會論文集.
- (7) Masaharu Kawai, 1988, "オフライソ-チソグのT-CAD, TEX システム," 機械と工具, Vol. 88, No. 10, pp. 45~50
- (8) Yoshimi, T. 1988, "三次元測定機とCAD/CAM," 機械と工具, Vol 88, No. 10, pp. 18~24.
- (9) Keiji Ueda, 1988, "CAD 三次元測定機間の相互テ-タ交換の有效性," 機械と工具, Vol. 88, No. 10, pp. 25~32.
- (10) Satoshi, M, 1988, "CIMへの參入をめさす LEITZ QUINDOS," 機械と工具, Vol. 88, No. 10, pp. 33~37.
- (11) Toshiro, I., 1988, "サイザックPAシリーズと CAD/CAMとの對應," 機械と工具, Vol. 88, No. 10, pp. 38~44.
- (12) Soichi, K, 1988, "計測支援システムMCATと自由曲面測定評價システム MSURF," 機械と工具, Vol. 88, No. 10, pp. 51~58.
- (13) Jena, V. Owen, 1991, "CMMs on the Shop Floor," Manufacturing Engineering, April, pp. 66~70.
- (14) Machinery and Production Engineering, 1989, "The CAD-CMM LInk in the Quality Chain," Sept., pp. 226~227. 