

병행 설계 공정 시스템

이 수 홍

Concurrent Design/Process System

Soo-Hong Lee



- 이수홍(연세대 기계공학과)
- 1959년생
- 기계공학을 전공하였으며, 동시공학 설계자동화, 인공지능, CAD/CAM 등에 관심을 가지고 있다.

병행 엔지니어링 설계 생산 시스템의 특성에 관해서 논의되었다. 시스템의 구조는 설계자와 설계 Agent(혹은 모듈)들 간에 제품 설계에서 제작·생산에 이르는 일련의 과정을 손쉽게 처리할 수 있도록 구축되었다. 특이한 것은 중앙에 지식 베이스를 둬으로써 각 Agent들 간의 정보교환을 용이하게 하고, 또한 필요한 정보를 서로 공유함으로써 정보 간의 연관성 유지 및 상호 보완 관계를 극대화하였다. 이 글에서는 병행 엔지니어링 시스템의 구체적인 설명을 위해 간단한 기계 조립품의 설계 제작 과정상에서 각 Agent들이 어떻게 서로 정보 교환을 하는지 보이자 한다.

1. 머리말

국제 경쟁력의 증대와 시장 수요의 빠른 변화에 대해 새로운 제품을 빠른 시간 내에 제공해야 하고 이와 동시에 원가절감과 설계시의 오류 발생 등을 줄이기 위해 새로운 설계 가공 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 제품의 질을 향상시키고 제품의 설계

에서 제작 생산에 이르는 일련의 과정을 줄이기 위해서는 제품 설계와 생산 사이의 연결과정을 줄이는 것이 가장 급선무라는 것은 널리 알려진 사실이다.^(1,2,3) 기존의 시스템이 각 분야별로 독자적인 발전을 이루었으나(즉, CAD, CAM, 혹은 CAE) 각 시스템이 갖고 있는 성능과 기능을 최대한으로 사용하지 못하는 바, 이의 효율적인 사용을 위해 각 시스템 간의 호환성을 이루는 것이 절대적으로 필요하다. 또한 기존의 CAD 데이터들이 2-D 형태의 기존 제도 용지상의 도면을 전산화하는데 그쳐, 이로부터 NC 코드를 얻는다는지, 부품 간의 간섭 검색을 하고자 할 때, 다시 3차원 형태의 도면 데이터로 전환해야 하는데, 이의 효율적인 관리 및 사용자의 편의를 위해 전체 시스템을 특징형상시스템(feature-based system), 신속시작체계(rapid prototyping system), 또는 병행설계(concurrent design)와 같은 설계 방법론 등을 사용함이 앞서 언급한 문제들의 대안으로 대두되고 있다.^(4,5) 설계와 생산 사이의 겉(GAP)을 극복하는 직접적인 방법은 제품 생산에 필요한 공정과 설계를 동시에 하는



그림 1 단계적으로 이루어지는 기존의 제품 설계 제작 과정

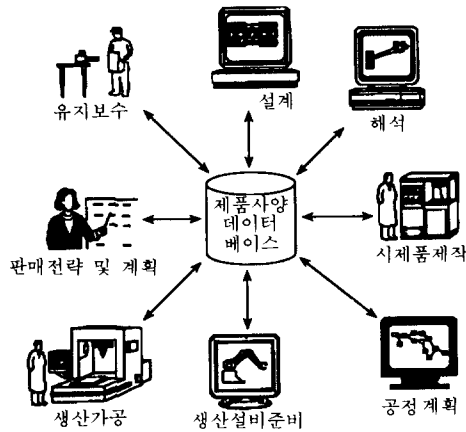


그림 2 중앙에 있는 제품사양들을 중심으로 각 분야별 단계가 분산되어 구성되는 병행 엔지니어링 시스템의 구조도

것이다. 이것이 병행제작공정(concurrent product/process) 디자인의 방법론으로 특징형상시스템, 신속시작체계, 병행설계를 합치는 것이라 할 수 있다. 그림 1에서 보여진 것과 같이 기존의 제품 설계 제작 과정은 단계적으로 이루어지므로 어느 한 단계에서라도 일의 진행이 마무리되지 않으면 다음 단계로 넘어가지 않으므로 설계에서 제품 생산에 이르기까지 상당한 시간을 요하며, 만의 하나 어느 공정이 잘못되어 수정하고자 할 때에도 역시 상당한 시간의 공정을 요한다. 이의 해결책으로 그림 2에서 보여진 것과 같이 중앙에 있는 제품 사양들을 중심으로 각 분

야별 단계들이 분산되어 구성되어 있으면, 앞서 언급한 문제들이 해결될 수 있다.

이글에서는 병행 제작 공정 디자인 방법론이 CAD/CAM시스템에 접목되는 과정을 보이고자 한다. 또한 현재 진행중인 연구분야와 관련된 결과 등을 기술하며 특징형상시스템의 어려운 점으로 어떠한 것들이 있는지를 보여주며 결론 짓고자 한다. 병행 제작 공정 디자인은 생산이 가능한 디자인 설계를 위한 최적의 방법론이라 할 수 있는데, 이는 생산 계획에 맞게 제품 설계를 하기 때문이라 할 수 있다. 제품 설계를 마친 후 생산 계획을 짜면 어려울 뿐 아니라 생산자의 측면에서 좀더 나은 제품 설계를 위한 개선의 여지가 있어도 이미 설계가 끝난 상태이므로 제품 생산 이후에도 제품에 대한 아쉬움을 남길 여지가 있다. 즉 기존 생산능력을 최대한으로 이용하지 못한 제품 설계의 가능성을 남기기 때문이다. 병행 제작 공정 디자인에서는 설계자가 제품생산 모드(즉, 절삭가공, 몰딩, 조립가공 등)에서 모체에 필요한 특징 형상 등을 적용하며 제품 설계를 한다. 예를 들어 절삭 가공물이 육면체의 모체로부터 알기 쉬운 절삭 가공 공정(구멍 뚫기, 슬롯 만들기, 또는 포켓 만들기 등)을 통해 설계가 된다. 이때 절삭가공 공정의 전문 지식이 동원되어 각 공정을 검색하며 설계자가 알 필요가 없는 각 공정의 상세한 내용은 각 공정에 맞게 시스템이 자동으로 생성 또는 보충을 한다. 이렇게 함으로써 자칫 설계자가 놓치기 쉬운 생산 공정 중에 고려해야 할 점등을 각 공정마다 검색할 수 있어, 설계 후에 생산 작업자로부터 "절삭 가공 불가능"이란 통고를 받아 설계를 변경·조정해야 하는 등의 위험성(즉, 설계제작기간의 연장 및 지연)을 줄일 수가 있다.

일반적으로 설계자는 한 생산 공정에 국한되어 일을 하는 것이 아니라 다른 공정도 염두에 두며 제품 설계를 하는 경우가 많다. 예를 들어 구멍 뚫기를 정의할 때 그 구멍을

나사로 쓸 것인지 아니면 페그(Peg)를 꽂아 넣을 것인지를 미리 염두에 두며 정의를 한다. 구멍 뚫기 자체는 절삭 가공 공정이지만 나사 넣기 혹은 페그(Peg) 끼워 넣기는 조립 공정이기 때문이다. 이 글에서는 주로 CNC절삭가공에 대해서만 고려될 것이다. 일반적으로 절삭 가공 공정에서의 제품 설계는 CAD/CAM분야에서의 CSG(constructive solid geometry)와 좋은 대조를 이룬다. 즉 원통형, 정육면체, 직육면체 등의 모체로부터 절삭가공 공정을 통해 계속적인 떼어내기 작업으로 기본 도형 등을(원통형, 정육면체, 직육면체) 서로 붙이고 조립하여 구성하는 CSG와는 정반대되기 때문이다. 최종 결과는 절삭가공품의 최종 모양과 함께 가공 생산 공정 계획까지도 제공한다.

2. 시스템개요

이 글에서 소개하고자 하는 시스템은 앞서

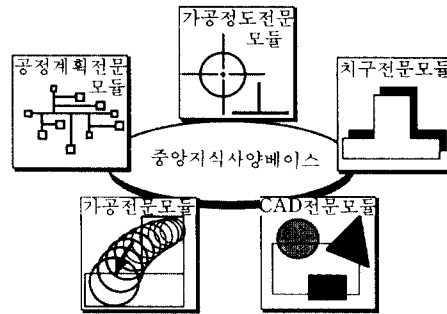


그림 3 중앙의 지식 베이스를 중심으로 각 분야별 전문 모듈들이 분산되어 구성되는 시스템의 구조도

언급한 방법론을 기계 가공품 생산에 적용한 신속 시작체계 시스템이라 할 수 있다. 그림 3, 4, 5는 시스템의 구성도와 GUI를 각각 보여주고 있다. 매 순간마다 각 설계 공정의 상태나 현재의 가공 모드 등에 적합한 특징 형상들을 MENU 형태로 나타내어 설계자가 원하는 특징 형상을 선택하면 특징 형상들

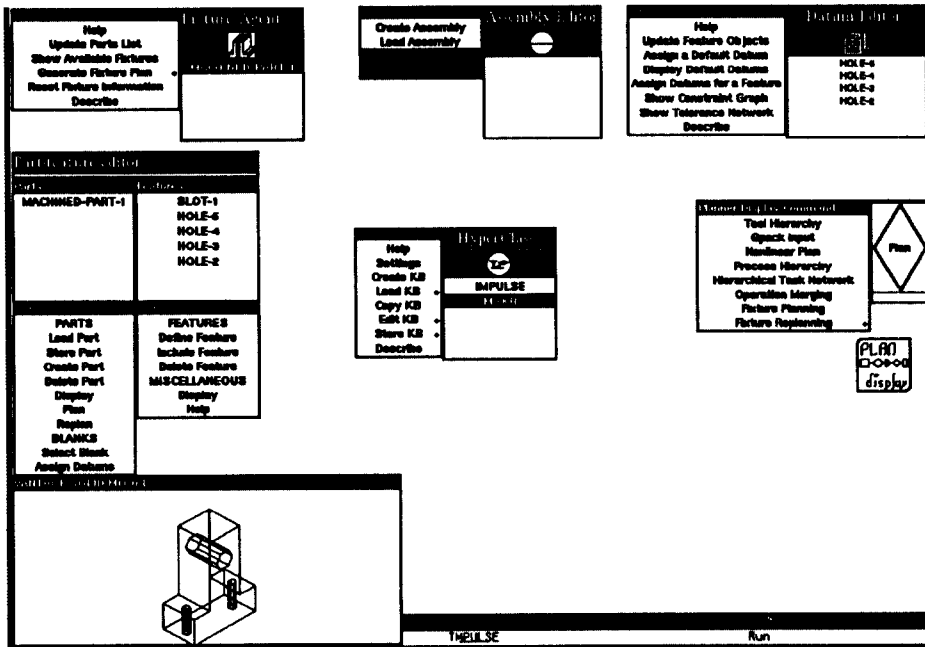


그림 4 전문가가 셀 위에 구축된 각 전문 모듈과 GUI를 나타내는 시스템의 계략도

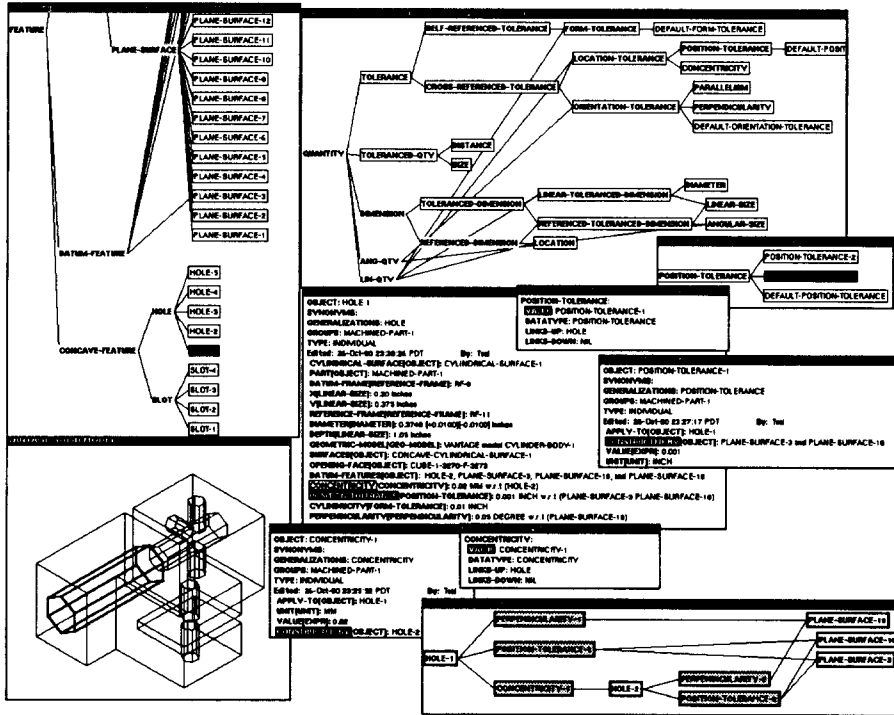


그림 5 병행 엔지니어링 시스템은 일반적으로 전문가 셀 위에 구축된다. 전문가 셀은 객체지향형 프로그램 환경을 제공하는데, 제공하는 프로그램으로는 그림에서 보여진 것과 같이 그래프, 연관 관계 도표, CAD 등을 제공한다

간의 간섭·검색 등을 통해 부적합한 특징 형상의 선택 가능성을 배제한다. 일단 특징 형상이 선택되면 선택된 특징 형상들에 적합한 여러 개의 기본 값을 보여주어 필요시 설계자가 바꿀 수 있도록 하며, 새로운 값을 집어 넣을 때도 기존의 특징 형상들과의 제약 조건을 만족하는지 새로운 데이터가 입력될 때마다 검색한다. 또한 이와 동시에 다른 특징 형상들과의 간섭이 있으면 간섭의 종류 및 정도를 공간 추론을 통해 설계자에게 제공한다. (그림 8 window (I) 참조) 시스템 내의 한 모듈인 CAD(일반적으로 3차원 형상이 쉽게 표현되는 솔리드 모델링 시스템, 그림 3 참조)의 기하학적 데이터 베이스를 통해 매번 선택되는 특징 형상에 이와 같은 검색 작업을 되풀이 한다. 또한 CAD모듈은

가공 공정물의 현재 기하학적 모양을 나타내 주어 공구와의 간섭 혹은 특징 형상의 위치 등을 설계자로 하여금 검색할 수 있게 해준다. 주어진 특징 형상들의 상관 관계를 공간 추론 기능을 이용하여 얻은 후, 공정 설계 모듈과 치구 공정 모듈의 검증을 거쳐 완성된 가공 공정 계획에 따라 NC코드로 전환하며, NC코드를 이용해 CNC 공작기계에서 최종적으로 설계된 제품이 가공에 이르게 된다. 설계 중의 제품은 수시로 가공될 수 있는데 매 순간마다 가공 공정이 항상 준비되어 있기 때문이다. 이와 같은 신속시작체제 시스템의 특성 때문에 설계 중의 제품이 설계가 완전히 끝나지 않은 상태일지라도 중간 과정에서 제품화될 수도 있고, 그 때 잘못이 발견되면 미리 고칠 수가 있어, 앞서 언급한

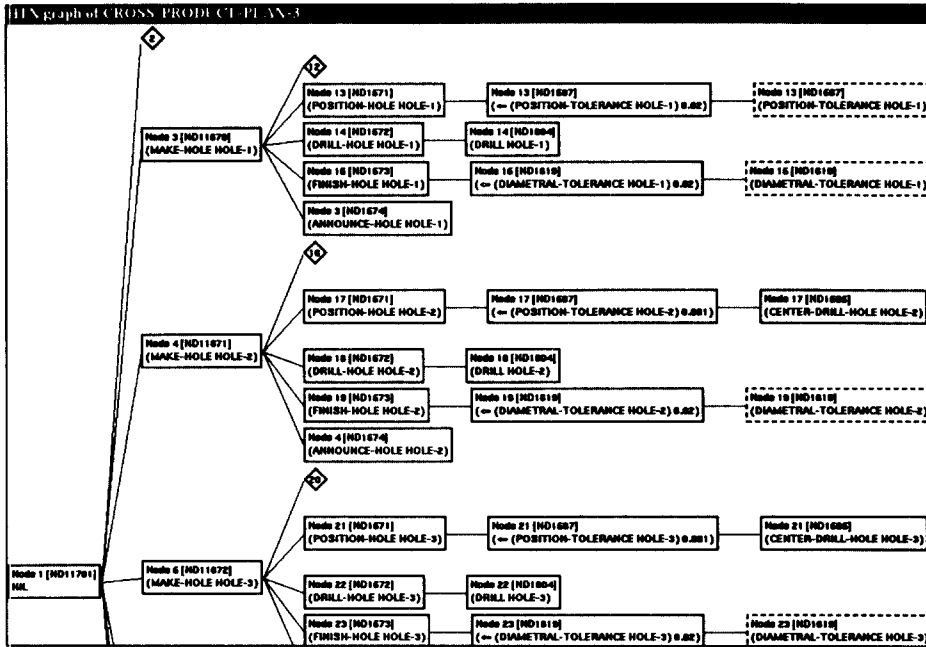


그림 6 부분 공정 설계의 계층적 구조와 연차적 공정계획도의 일부

설계와 제품 생산의 간극을 극소화할 수 있는 것이다. 공정설계 계획은 시스템 내의 가공 공정의 집합이나 단계로써 저장되어진다. 단계들은 또 다시 차단계(sub-step)들로 혹은 마크로단계(macro-step)들로 세분화될 수 있다.(그림 6에 보여짐) 각 단계에서는 초기 설정 조건, 이 공정의 목적, 혹은 Rationale(공정이 선택된 이유), 제약 조건

등이 주어져 있다. 그 외에 예상 가공 시간, 공정 단가 등이 필요에 따라 쉽게 첨가될 수 있다.

2.1 모듈별 기능

그림 7과 8은 이 글에서 소개하고자 하는 시스템에 의해 나타난 설계 가공물과 그에 대한 공정 계획도를 각각 나타낸다. 가공품의 설계에서 최종 단계인 NC코드를 이용해 CNC 공작기계에서의 제품 가공 완료를 각 전문 Agent별로 살펴보기로 한다.

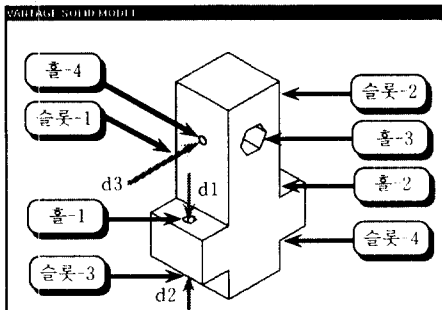


그림 7 4개의 구멍 특징형상과 4개의 슬롯 특징형상으로 이루어진 간단한 설계 가공물의 예

2.1.1 CAD 전문 모듈

설계자는 "Machining Mode"로 들어가서 육면체의 모체로부터 여러가지 특징 형상들을 정의하여 필요 가공품을 만든다. 설계자의 첫번째 선택은 설계하고자 하는 가공물의 모체를 선택한다. 선택된 모체에 대해 재료와 치수, 가공 정도 등 모체의 기본적인 사양을 제시하거나 사용자에게 요구한다. 이때

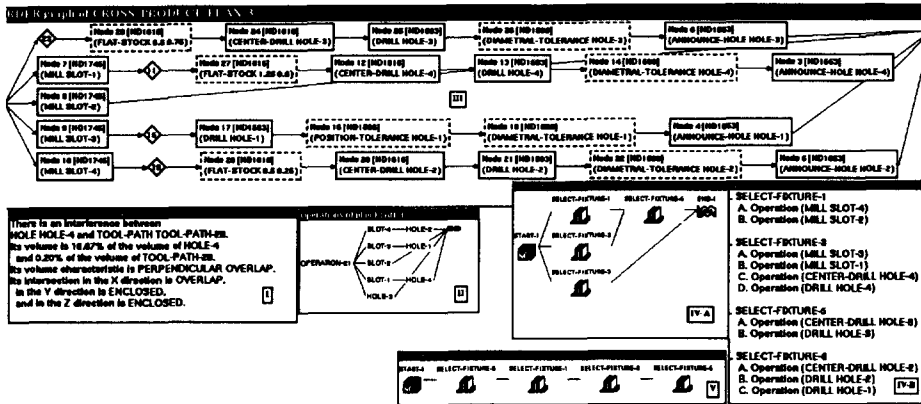


그림 8 그림 7에 보여진 설계 가공물에 대한 부분 공정 계획도, 치구 공정 계획도, 공간 추론에 의한 결과 및 특징 형상들간의 상관 관계를 나타낸다.

자주 쓰이는 재료 및 치수, 가공 정도 등을 이미 지정하여 설계자가 같은 치수, 같은 재료 등을 사용하고자 할 때는 또 다시 키입력할 필요가 없게 된다. 또한 주어진 재료에는 (예를 들어 알루미늄 모체를 사용할 시) 재고에 있는 치수만을 보여줌으로써 재고에 없는 모체를 선택하여 설계가 끝난 후 모체를 구하지 못해 설계 변경을 해야 하는 등의 번거움을 설계 초기부터 잡아줄 수 있다. 가공하고자 하는 물품이 고가공 정도를 요구하지 않을 시는 Face 밀링 가공이 필요없는 압축 스톡으로 모체를 추천한다. 시스템 내에 있는 CAD 시스템은 모체의 치수에 맞는 그림을 3차원 형태로 보여준다. 정면, 측면, 윗면을 보고자 할 때 설계자의 요구에 맞게 그림을 바꿀 수 있음은 물론이다.

다음 단계로 설계자는 특징형상들을 선택한다. 구멍 특징형상을 살펴보자. 시스템은 기본적인 구멍 특징형상 사양을 제시한다(일반적으로 구멍 뚫기의 축, 지름, 길이 등을 제시). 일단 설계자가 기본 사양을 변경하거나 주어진 값을 사용하여 구멍 특징형상 사양을 지정·완료하면 시스템은 혹 근접 특징형상과의 간섭은 없는지, 너무 붙어 있어 실제 가공시 가공 오차에 문제가 생기지나 않

을지 등을 검색한다. 이와 같은 검색에 필요한 가공 정보들은 전문 생산자의 Know-How를 코드화하여 시스템 내의 데이터 베이스에 저장되어 있다. 간섭 검색등은 CAD 시스템 자체가 갖고 있는 기능들(Boolean Operator: Intersection, Union, Difference, Assembly 등)을 이용한 공간 추론(spatial reasoning)을 이용한다.

2.1.2 공정 계획 전문 모듈

가공 전문 모듈(machining expert)은 선택된 가공 공작 기계(3축 machining-center, 5축 machining-center, 일반 선반, 일반 밀링 등)의 사양에 맞게 상세한 가공 정보를 결정한다. 예를 들어 구멍 뚫기를 할 때, 어떠한 드릴을 쓰며, 뚫을 때 회전 속도는 얼마로 하며, 가공 공정의 가공 정도(Tolerance)에 따라 센터-드릴링 공정을 집어넣어야 하는지 등을 결정한다(가공 정도가 높을 때에는 반드시 센터-드릴링 공정을 집어넣어야 한다. 일반적으로 0.02 mm 정도 이상의 가공 정도에 센터-드릴링 공정을 필요로 한다). 치구 전문 모듈과 가공 전문 모듈 모두 시스템 내에 있는 공간 추론자(spatial reasoner)를 사용하여 공구가 근접할 수 있

는 가공 표면은 어떠한 것이 있으며 선택된 공정을 가공할 때 공구 입력각이 지나치지는 않은지 등을 검색한다. 마지막으로 시스템은 예측하지 못한 간섭이나 실제 가공 상에서 일어날 수 있는 여러 가공 오류등을 상세히 검색하여 최종 결과를 시스템 내의 CAD를 이용하여 시뮬레이션 한다. 문제가 발생할 때에는 시스템 자체 내의 대안들로 치구, 절삭 공구, 혹은 가공 순서 등을 대처하여 최종결과를 제시한다. 마땅한 대안들이 없을 때에는 설계자에게 가공 불가능임을 알려 설계 변경을 할 수도 있고, 시스템 내의 가공 전문 데이터 베이스에 없는 공정에 의한 결과일 수도 있으므로 가공 전문가에게 의뢰하여 시스템 내의 전문 지식 코드를 새롭게 하여 결과를 얻기도 한다.

2.1.3 치구 전문 모듈

다른 한편으로는 치구 전문 모듈(fixture expert)이 어떠한 타입의 치구를 쓰며 클램핑의 위치는 어디로 할 것인지 등을 결정한다. 이러한 치구 결정은 매 공정이 더해질 때마다 자동적으로 추가되며 가공공정 계획이 마무리될 때 치구 정보도 같이 출력된다. 일반적으로 육면체 혹은 원통형의 모체에 이루어지는 절삭 가공에 대해, Vise, Strap-Clamp, Parallel-Bar, V-Block 등이 쓰여 진다. 치구 공정에 대한 정보는 설계자의 선택에 따라 매번 화면에 나타나게 할 수도 있고, 설계시의 번잡함을 피하기 위해 나타나지 않게 할 수도 있는데, 어느 경우든 치구 정보는 가공 공정 계획과 마찬가지로 시스템 내의 출력 파트 혹은 데이터 베이스에 계속 축적된다. 일반적으로 치구 전문 모듈은 세 가지 제약 조건을 만족시키며 원하는 치구 정보를 얻는다. 기하학적 제약조건, 기구학적 제약 조건, 응력학적 제약 조건들이 그것이다. 기하학적 제약조건에서는 크게 두 가지의 기능을 가지고 있다 할 수 있는데, 그 하나는 공간 추론을 이용한 공구 홀

은 공구 홀더와 치구와의 간섭 검색이 그것이며 다른 하나는 주어진 형상에 대해 적당한 크기의 치구가 존재하는지를 검색한다. 한편 기구학적 제약 조건은 가공물과 치구 사이의 자유도(degree of freedom)를 없애는 것이 주 목적인데 수학적으로 Form Closure 혹은 Force Closure⁽⁶⁾를 만족시킴으로써 제약 조건을 해결한다. 마지막으로 응력학적 제약 조건은 어느 정도 크기의 클램핑을 주어야 가공 중에 스티이 일어나지 않으며, 무리하게 클램핑하여 허용 가공오차를 만족시키지 못하는 일이 없도록 조절한다. 이의 효율적인 해결을 위해 한계 곡면(Limit Surface,⁽⁶⁾) 이론이 사용된다.

2.1.4 가공 및 치구 공정 정보의 재사용

그림 9와 10은 형상면, 특징형상, 가공 오퍼레이션, 치구 공정 간의 연관 관계 구조도(dependency structure)와 설계 변경·수정시의 시스템이 제공하는 결과를 각각 나타낸다. 이글에서 소개하는 시스템의 특성 중의 하나인 연관 관계 구조도 덕분에 사용자는 빠른 시간 내에 새로운 가공 및 치구 공정 계획과 실제 가공에 필요한 NC 코드를 얻을 수 있다. 그림 10은 그림 7에 보여진 기계 가공물의 특징 형상 중 Hole-4의 가공 허용 오차를 1mm에서 0.1mm로 변경시키고 Hole-3의 지름을 일반 드릴 사이즈가 아닌 값으로 변환시켰을 때의 결과다. 가공 허용 오차의 감소로 구멍뚫기를 할 때에 센터 드릴링 공정이 첨가되었고, 일반 드릴 사이즈가 아닌 구멍뚫기에 대해 구멍뚫기 공정이 아닌 밀링 공정으로 대처되었다. 그림 10에서 검게 마크된 공정은 재사용된 것이고 투명하게 마크된 공정이 새로 변화되거나 첨가된 공정이다. 한편 구멍 특징 형상에서 지름의 수정이나 가공 허용 오차의 변화는 치구 전문 모듈 입장에서는 달라질 것이 없으므로 이전 치구 공정이 재사용된다. 이와 같은 시스템의 특성 덕분에 설계자는 자유롭게 원하

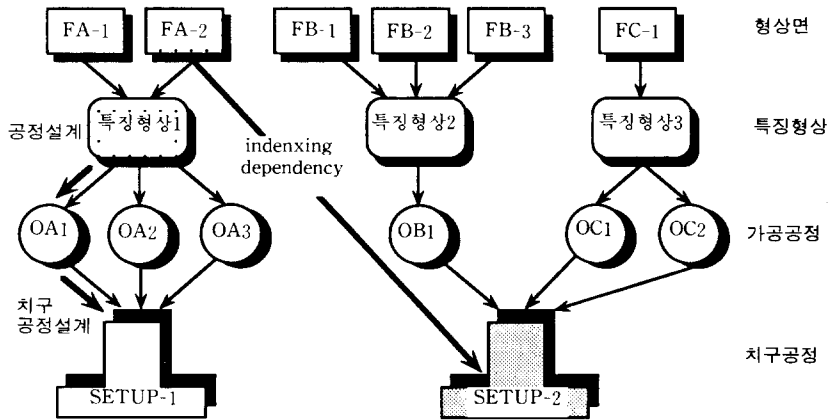


그림 9 형상면, 특징형상, 가공 오퍼레이션, 치구 공정 간의 연관 관계 구조도

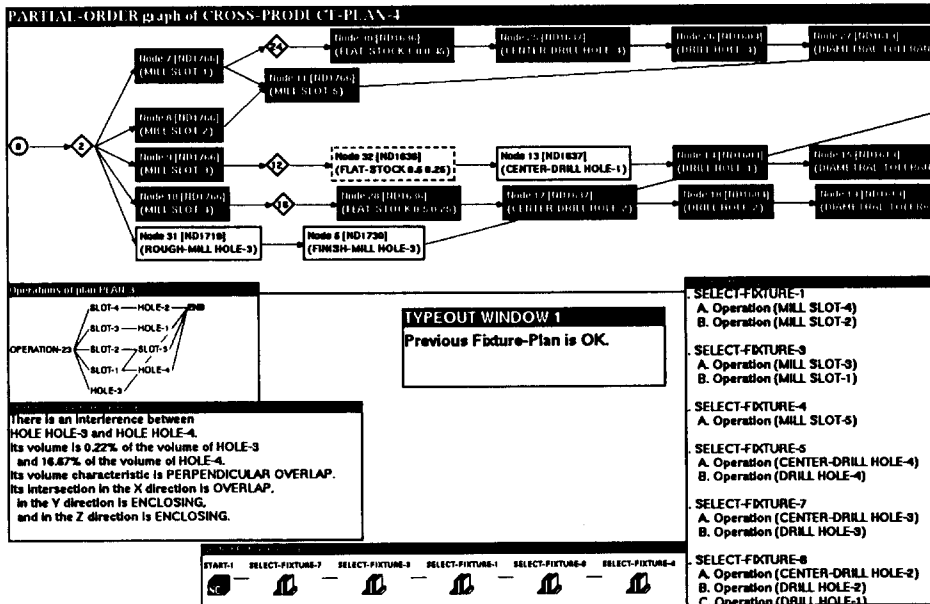


그림 10 검게 마크된 공정은 재사용된 것이고 투명하게 마크된 공정이 새로 변화되거나 첨가된 공정이다. 한편 구멍 특징 형상에서 지름의 수정이나 가공 허용 오차의 변화는 치구 전문 모듈 입장에서는 달라질 것이 없으므로 이전 치구 공정이 재사용된다.

는 설계품을 언제든지 변경, 수정할 수 있어 초기 설계, 개념 설계를 용이하게 할 수 있다.

2.2 시스템 구성환경

이 글에서 소개하고자 하는 시스템은 객체

지향 Common-Lisp 환경인 Hyperclass(일명 SPE; Symbolic Programming Environment라고도 불림) 전문가 셸에 구축되었는데, Hyperclass는 Schlumberger Co.가 캘리포니아 Palo Alto에 있는 인공지능(AI) 실험실에서 지난 1988년 말에 개발한 프로그램

이다. 시스템은 SUN SPARC2상의 32M-RAM H/W 위에 Lucid Common Lisp, Unix, Vantage 등과 같은 S/W를 가지고 구축되었다. 솔리드 모델링으로는 CMU (Carnegie-Mellon Univ.)의 Robotics Vision 실험실에서 개발한 프레임을 근거로한 솔리드 모델링 시스템인 Vantage를 사용했다. Hyperclass와의 인터페이스를 위해 다른 여러 솔리드 모델링이 고려되었으나 Vantage는 Hyperclass와 같은 컴퓨터 언어인 Lucid-Common-Lisp로 구성되어 있으므로 인터페이스에 전혀 문제가 없어 소개된 시스템의 CAD 모듈로 선택되었다. 병행 엔지니어링 시스템의 일반적인 구성은 기존의 CAD/CAM 시스템과 객체지향형 프로그램 환경인 전문가셀로 구성되는데, 전문가셀과 CAD/CAM 시스템과의 인터페이스가 시스템 구성의 가장 큰 난제로 알려져 있다. 최근에는 이러한 문제점의 해결 방안으로 CAD를 내장한 전문가셀이 등장하여 병행 엔지니어링 시스템 구성이 한결 용이해졌다.

3. 연구분야

시스템의 핵심이라 할 수 있는 가공 전문 지식을 코드화하는 데에는 기존에 알려진 지식들과 전문 생산자와의 교류를 통해 보완된다. 시스템이 보유할 가공 공정으로는 구멍 뚫기, 스롯 만들기, 포켓 만들기 등 비교적 간단한 가공 공정들을 가지고 시작되어 가공 공정 지식이 증대됨에 따라 좀더 복잡한 가공 공정등도(예, 윤곽 포켓 등) 포함된다.

3.1 절삭 가공 지식

소개된 시스템에서는 정밀 절삭 가공등에서 중요한 표면 거칠기, 공구의 휨, 공구떨림(chatter), 부품의 변형 등을 고려하지 않지만 절삭가공 변수의 설정, 공구선택, 치구 설정, 공구경로의 설계 등을 고려한다. 그러므로 시스템의 효율적인 활용을 위해 지식의

축적은 매우 중요하다 하겠다. 다행스럽게도 전문가들의 도움으로 제공되는 지식 기반의 확립이 비교적 쉽게 시스템의 전문성을 증대시키고 있다.

문제를 간략화하기 위해 일반 대학에서 가르치고 있는 신속시작 체계 수업에서 행해지는 절삭가공 지식을 코드화하는 데에 주력했다. 학생들은 적은 양의 치공구와 치구들을 사용하여 몇 개의 기본적인 절삭 가공 방법을 익힌다. 또한 절삭력, 치구력, 공구떨림 등과 같은 치공구와 관계된 현상들과 가공 허용 오차, 치구선정 등에 대한 근본적인 것들을 습득한다. 대부분의 절삭 가공 지식은 법칙(rule), 절차(procedure), 혹은 테이블 형태의 실험치들로 나타내어진다. 예를 들어 주어진 재질, 절삭가공 등에 대해 경험적으로 얻어진 절삭속도 및 이동속도 등이 있고, 절삭순서 결정, 치공구선택 등이 경험에 의한 데이터 베이스로서 존재한다. (예: 센터 가공 밀링 공정이 아니면 플랜징(plunging)에 엔드 밀링 공구를 사용하지 말것 등) 이러한 경험적인 데이터들은 몇몇 제한된 특정 현상들에 대한 것이므로 절삭 가공 모듈에 직접 집어넣음으로써 효과적으로 사용할 수 있다. 반면에 공구사용, 혹은 치구선택 등과 같이 전문지식을 요구하는 부분에 대해서는 특성화를 이루는 전문모듈 형태로 구성하여 병행 엔지니어링의 방법론을 이용하도록 한다. 절삭가공 전문모듈은 표준화된 가공 기술이 제공하지 못할 때, 가공 전문가들의 고문역으로서 봉사하게 된다.

3.2 공간 추론 기능

일반 중소기업 가공 현장에서 주어진 모든 절삭 가공 지식들이 쉽게 법칙이나 일관된 절차로 코드화되지는 않는다. 가장 좋은 방법은 시뮬레이션 형태로 코드화되어 공간 추론 또는 물리적인 추론에 의하는 것이다. 간섭을 일으키지 않으면서 구멍을 설정할 위치를 찾는다든지, 이상한 형태의 부품을 고정

시킨다든지 하는 것이 시뮬레이션에 의해 이루어질 수 있다. 시뮬레이션의 다른 장점으로는 설계 과정에서 일어나는 여러 발생 가능 문제점들을 설계자에게 전해주며, 직접 제작 생산을 하지 않고도 실제 생산시에 발생할 문제들을 검증할 수가 있다(취기 쉬운 부품의 지나친 휨, 등). 또한 시뮬레이션을 통해 부산물로 생성 가능한 특징 형상들도 발견할 수 있다. 시뮬레이션의 중요한 요소로는 모델링이라 할 수 있는데, 이는 단순한 기하학적인 것뿐 아니라 기구학, 동역학, 변형 해석 등을 포함한다. 모델링과 시뮬레이션은 상황에 따라 혹은 정보의 상세 정도에 따라 여러 레벨의 계층 형태로 나타날 수 있는데 정성적 모델링⁽⁷⁾으로부터 정량적 결과인 유한 요소 해석(FEM)에까지 이른다 할 수 있다. 마지막으로 시뮬레이터는 시뮬레이션의 결과를 공정 계획에 이용하거나 유용한 결과를 찾아서 이용할 줄 아는 추론 시스템과의 결합이 반드시 있어야 한다. 이러한 요구조건들을 만족하는 시뮬레이터는 일반적으로 쓰이는 시뮬레이터와는 표현 방식이 다르므로 많은 연구분야가 있으리라 기대된다.

병행 엔지니어링 설계에 있어서 부품과 공정이 차례로 시뮬레이션된다. 이러한 시뮬레이션을 이루기 위해서는 대화적인 설계 방식에 적합하게 빠른 결과를 주어야 하며, 시간을 요하는 부분에 대해서도 이전 결과를 최대한 이용하는 방식으로 구성되어야 효과적인 결과를 제공한다. 이러한 여러가지 사항들을 고려해야 하므로 공간 추론 분야에 많은 연구 테마가 있으리라 기대된다. 예를 들어 간섭 검색을 하고자 할 때, 주어진 상태에서 모든 것을 다 검색하는 것이 아니라 미리 설정된 영역 이내의 부분에 대해서만 간섭 검색을 하면 상당한 양의 검색 시간을 절약할 수 있다.

3.3 관련 연구 분야

이외에 관련된 연구분야로 CAD, 공정설

계 시스템, 전문가 시스템, 객체 지향형 프로그래밍 기법 등과 로봇의 행동 반경을 시뮬레이션할 때 쓰는 공간 추론 이론 등 여러 분야의 연구들이 있다. CAD 분야에 있어서는 초기의 CAD 시스템이 도면 설계자에게 도면을 자동화 또는 코드화하는 데에 그쳤지만 곧이어 3차원 형상의 모델까지도 제공하여 NC 코드 작성 등 CAM으로의 전환에 쉽게 이용될 수 있도록 발전되었다. CSG, Sweep, 폴리노미얼(polynomial)과 스플라인(spline) 등을 이용한 곡면 표현 방법등이 현재의 CAD 시스템의 주류를 이루고 있다. 더 발전되어 특징 형상을 이용한 CAD 시스템이 단순 3차원 형태의 도형을 그려넣는 것에 그치지 않고 나사-끼인-구멍, 챔퍼(chamfer) 등과 같은 고차원의 특징 형상을 설계자에게 제공하여 설계시의 3차원 형상을 쉽게 정의할 수 있게 해줄 수 있게까지 발전되었다.

공정설계 시스템 분야에 있어서도 초기의 기하학적 특징 형상이나 제품 생산 특징 형상을 이용할 때 쓰는 GT(group technology) 코드를 주로 이용한 변형(variant) 공정 설계 시스템에서 GT 코드들이 부품에 존재하는 특징 형상들을 이용한 생성(generative) 공정 설계 시스템에 이르기까지 많은 연구가 진행 중에 있다.⁽⁸⁾ 또한 CAD 모델 내에 있는 특징 형상 인식 분야는 컴퓨터를 이용한 공정 설계 시스템의 가장 어려운 문제 중의 하나로 인식되고 있다. 이러한 어려운 문제의 이유로는 CAD 모델이 완전하지 않기 때문이다. 어떤 특징 형상들은 다른 어떤 공정에 의해 부산물로 생겨날 때가 있어 특징 형상 인식을 통해 설계자가 부여한 특징 형상 리스트에 첨가되어야 올바른 공정 설계 계획을 얻을 수 있으므로 공정설계 시스템의 발전을 위해 특징 형상 인식 연구 분야의 많은 연구 결과가 필요하다.

CAD, 공정 설계 시스템, 특징 형상 인식 시스템 등에서 쓰이고 있는 특징 형상들에

관련된 연구들의 상세한 고찰은 참고문헌 (3)에 좀더 상세히 기술되어 있다.

4. 고찰 및 맺음말

이상으로 병행 엔지니어링 시스템의 구체적인 설명을 통해 간단한 기계 가공품의 설계 제작 과정상에서 각 Agent들의 역할과 기능에 대하여 간략하게 살펴보았다. 본 시스템의 가장 큰 특징은 설계상의 사양을 변경하였을 때 기존의 공정설계 정보나 치구공정 계획 정보를 새로운 일련의 결과를 얻고자 할 때 다시 이용하는 것이다. 일반적으로 자동차 혹은 항공기 부품을 나타내는 데 25~30여 개의 특징 형상을 필요로 한다. 필요한 가공 및 치구 공정 설계 계획 및 최종 NC 코드까지 얻는데 Sun Sparc 2 머신 위에서 보통 30 내지 40분의 시간을 요한다(특징 형상들의 수가 증가할수록 거기에 수반되는 공간 추론 계산량은 기하급수적으로 증대되어 이와 같이 많은 시간을 요한다). 몇 개의 특징 형상의 수정이나 증대로 또다시 30~40분을 기다려야 한다면 이는 매우 비효율적인 시스템이다. 이와 같이 점진적(incremental)이고 상호 보완적인(interactive) 특성 때문에 얻어진 결과가 가장 최적의 결과인지는 알 수 없다. 또한 중앙에 지식 베이스를 중심으로 각 전문 Agent들 간의 상호 정보 교환을 통해 필요한 결과를 제시하므로 서로 상반된 제약 조건이 있을 때 무한루프에 걸려 결과를 얻지 못하는 경우가 생긴다. 이와 같은 문제가 발생할 때에는 인간 사회에서 서로 양보와 타협으로 문제를 해결하듯이 각 Agent 간에도 양보와 타협을 통한 해결 방안을 필요로 한다. 이러한 식의 해결방안을 추구하는 새로운 방법론으로 타협 기반 설계 방법론(negotiation-based approach), 혹은 제약조건 완화 방법론등이 차세대 설계 가공 방법론으로 대두되고 있다.^(5,10)

참고문헌

- (1) Cutkosky, M. R. and Tenenbaum, J. M., 1990, "A Methodology and Computational Framework for Concurrent Product and Process Design," *Mechanical and Machine Theory*, Vol. 25, pp. 365~381.
- (2) Cutkosky, M. R., Tenenbaum, J. M. and Muller, D., 1988, "Features in Process-Based Design," ASME 1988 Conference: *Computers in Engineering*, pp. 557~562.
- (3) 이수홍, 1993, "설계의 병행 엔지니어링 기법(I) : 적용 예 : 절삭가공용 시스템," *기계와 재료*, Vol. 5, No. 1, pp. 107~124.
- (4) Luby, S. C., Dixon, J. R. and Simmons, M. K., 1986, "Creating and Using Features Data Base.," *Computers in Mechanical Engineering*, pp. 25~33.
- (5) Luby, S. C., Dixon, J. R. and Simmons, M. K., 1986, "Designing with Features: Creating and Using Features Data Base for Evaluation of Manufacturability," *Proceedings, International Computers in Engineering Conference*, ASME, 1986, Vol. 1, pp. 285~292.
- (6) Lee, S. H. and Cutkosky, M. R., 1991, "Fixture Planning with Friction," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 113, No. 3, pp. 320~327.
- (7) DeKleer, J., 1984, "A Qualitative Physics Based on Confluence," *Artificial Intelligence*.
- (8) Eckert, R. L., 1984, "Codes and Classification Systems," in *Group Technology at Work*, *Society of Manufacturing Engineers*, pp. 43~51.
- (9) Kambhampati, Subbarao, Lee, S. H., Cutkosky, M. R. and Tenenbaum, J. M., 1993, "Integrating General Purpose Plan-

- ners and Specialized Reasoners : Case Study of a Hybrid Planning Architecture," Accepted for Publication in the *IEEE-SMC Special Issue on Planning, Scheduling and Control*, in Press.
- (10) Lee, S. H, Cutkosky, M. R. and Kambhampati, Subbarao, 1991, "Incremental & Interactive Geometric Reasoning for Fixture and Process Planning," *Issues in Design/Manufacture Integration* 1991, ASME Winter Annual Meeting, Atlanta, Georgia, pp. 7~13. ■