

## Assembly Modeling

김 성 환

서울산업대학교 자동화공학과

기계 부품을 설계함에 있어 솔리드 모델링 시스템의 사용을 골격으로 하는 CAD 시스템의 사용은 삼차원 모델링된 단일 물체에 대한 물성치(mass property)의 계산, FEM 해석을 위한 유한요소의 자동 생성, 곡면에 대한 NC 공구경로(NC tool path)의 자동 계산, 부품의 생산을 위한 가공 정보의 도출 등의 분야에 많은 도움을 주어 설계와 생산, 관리의 전 분야에 혁신적 효율화를 도모해주었다. 한편 이렇게 설계된 단품들은 대계의 경우 조립되어 조립체를 이루게 되고, 그 상태로 혹은 부품간에 상대운동을 하면서 원하는 기능을 구현하게 된다. 단품에 대해서처럼 이 과정에서 CAD 시스템은 조립체의 삼차원 형상을 인식하고 필요한 정보를 제공해 줌으로써 설계자에게 유용한 도구로 사용될 수 있는데 이를 조립체 모델링 시스템(Assembly Modeling System)이라 부르며, 현재에는 대부분의 솔리드 모델링 시스템에 그 기능이 채택되어 있다. 그림 1은 조립체 모델링 시스템에 의해 생성된 조립 전개도(exploded

view of assembly)이다. 조립체 모델링에 관한 연구 동향을 비교적 잘 정리한 문헌으로는 Turner<sup>(1)</sup>와 Libardi<sup>(2)</sup>의 것을 들 수 있다. 여기서는 이러한 조립체 모델링 시스템의 연구분야와 동향에 대해 또 나름으로의 시각으로 정리하였다.

### 1. 조립체 모델링 시스템의 필요성

조립체 모델링 시스템이 필요한 분야는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 작동 간섭 검사(interference check): 가장 기본적인 이면서도 필수적인 요구이다. 모든 단품의 설계가 끝나면 이들이 조립된 상태에서, 혹은 작동 중에 충돌을 일으키는지의 여부는 매우 중요하면서도 도면상에서 파악하기 쉽지 않은 현장 설계자의 고충 사항이다.
- 기구학 및 동역학적 해석을 위한 모델 제공: 특정 기구의 기구학 혹은 동역학적 거동을 소프트웨어 패키지로 해석하고자 하면 이를 위한 수학적 모델이 요구된다. ADAMS나 DADS와 같은 패키지들은 이를 위해 전용의 전처리기(preprocessor)를 제공하고 있는데 이는 조립체 모델링 시스템의 특수한 활용 형태로 볼 수 있다.
- 조립성 판단 및 조립 순서의 결정: 설계된 조립체가 조립이 가능한지 혹은 조립성이 좋아 조립하기 용이한지 등은 생산 자동화를 위한 필수 정보이며, 이를 판단하기 위해서는 조립체에 대한 상세한 정보가 필요하다. 조립체 모델링 시스템은 이를 위한 컴퓨터 모델을 제공할 수 있다. 조립 순서의 결정에 대해서도 마찬가지로 역할을 한다.
- 공차 계산 혹은 분석: 조립체에서 전체 기능을 좌



그림 1. CATIA에서 생성한 조립 전개도.

우하는 기능 공차는 조립체 상의 여러 단품의 공차의 상호작용으로 그 크기가 영향을 받는다. 기능 공차의 크기를 원하는 범위에 들게 하기 위한 각 단품의 공차를 정하는 것을 tolerance synthesis라 하고 각 단품의 공차로부터 정해지는 기능 공차의 범위를 산출하는 것을 tolerance analysis라고 한다. 양쪽 모두 단품의 조립상태에 따른 영향을 고려해야 하기 때문에 조립체 형상에 대한 정보를 필요로 하며 조립체 모델링 시스템은 이를 지원해 줄 수 있다.

- 설계 도구로서의 조립체 모델링 시스템: 이제 CAD 시스템은 전통적인 설계과정 중의 단일 작업, 예를 들면 도면작성이나 해석을 위한 컴퓨터 모델의 생성을 위해 잠깐씩 사용되는 보조적 도구를 넘어서서 설계환경 그 자체로 사용되어 설계, 생산, 관리에 이르는 전 과정을 관할하는 생산 시스템의 환경으로 그 사용이 확장되어가는 추세에 있다. 이렇게 되려면 조립체 모델링 시스템이 설계 단계를 완전히 수용할 수 있는 설계 환경이 되어 주어야 한다.

## 2. 조립체 모델링의 연구 분야

### ◎ 조립체 자료구조

조립체라는 객체로 무엇을 저장하고 이를 어떤 분야에 활용할 것인가가 먼저 규정되어야 조립체 자료구조를 정할 수 있다. CAD 시스템의 초기 단계에서는 조립체를 구성하는 단일 부품의 솔리드 모델과 이들의 조립체 상의 공간 위치를 나타내는 변환행렬로 조립체를 표현하였으나, 이후 각 부품간의 상호결합관계를 조인트 정보로 포함하게 되었고, 보다 편리한 사용자 인터페이스를 구현하기 위해 만남조건과 이로부터 유도되는 상대 위치 및 조인트 정보를 저장하는 자료구조로의 발전이 있었다.<sup>(3)</sup> 최근에는 초기 설계 단계를 포함할 수 있게 초기 설계의도를 조립체 자료구조에서 표현해야 한다는 주장에 제기되고 있으며, 초기 단계에서 가지는 축약 형상 부품과 이들의 상관관계를 표현할 수 있는 자료구조가 제안되고 있다.<sup>(4)</sup>

조립체 자료구조는 그 자체로 연구 된다고 보다는 조립체 모델링 시스템의 목적 기능이 설정되면 그것을 구현하기 위한 기술의 개발과 더불어 이에 가장

적합한 자료구조가 고안되는 형태로 연구가 진행되고 있다.

### ◎ 조립체 정보의 추론(Reasoning)

비교적 복잡한 조립체를 모델링하는데 있어서 각 부품 사이의 상호 관계와 이들의 공간상의 위치를 일일이 사용자가 입력해 준다는 것은 매우 어렵기 때문에, 최근의 연구와 상용 패키지들은 만남조건(mating condition)이라는 부품간의 상대적 접촉 관계를 입력 받아 이로부터 필요한 모든 정보를 도출해 사용하는 형태를 가지고 있다. 최소한의 사용자 입력정보로부터 부품의 위치, 조인트 등을 유도하는 과정을 reasoning이라고 부르며,<sup>(1)</sup> 아직 cycle을 가지는 복잡한 물체에 대해서는 불완전하다. 그림 2는 Pro/ENGINEER에서 만남조건을 사용하여 조립 위치를 계산하는 예를 보여주고 있다.

### ◎ 조립 순서 계획의 수립

조립순서계획이란 주어진 각 부품의 정보와 부품간의 관계 정보로부터 구속조건을 만족하고 조립 비용을 최소화하는 조립 순서를 결정하는 과정이다. 조립 공정 계획의 자동화와 관련된 주요 연구 대상은 따라서 조립체의 표현 방법과도 밀접한 관계를 가지고 있으며, 조립 순서의 표현방법, 조립 순서의 정확성(조립 가능성 검사 방법), 조립 순서의 완전성, 시스템의 효율, 최선의 조립 순서를 정하는 방법 등으로 세분할 수 있다.<sup>(5)</sup> 과거 초기 연구 단계에서는 조립 가능성을 주로 염두에 두고 조립 순서를 정하는 연구가 있었으며,<sup>(6)</sup> 최근에는 최선의 조립순서와 방향을 판단하는 연구로 발전하고 있다.<sup>(7,8)</sup> 한편 인터넷에서 Assembly Planning 연구자들을 찾을 수 있는 곳은 <http://cadlab.mit.edu/~krish/research.html>이며

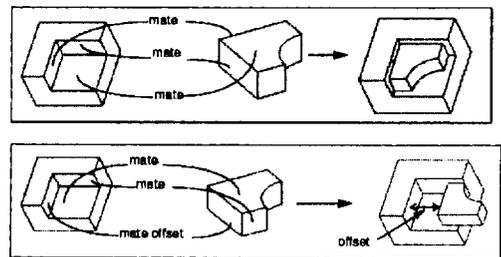


그림 2. Pro/ENGINEER에서 지원하는 만남조건의 예.

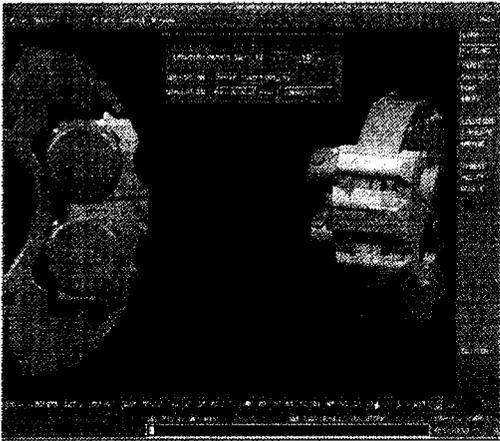


그림 3. CATIA에서 생성한 collision free trajectory.

몇 개만 열거하면 다음과 같다.

<http://robotics.stanford.edu/users/assembly/assembly.html>

<http://www.cs.tamu.edu/research/robotics/Wolter/home.html>

<http://www.sandia.gov/2121/archimedes/archimedes.html>

<http://www.mit.edu:8001/afs/athena.mit.edu/user/k/r/krish1/www/assembly1.html>

<http://www.cs.tamu.edu/research/robotics/Wolter/asp/bib.html>

<http://cadal7.snu.ac.kr:8001/usr/super/sign.html>

그림 3은 CATIA에서 조립 간섭을 검사하여 조립 방향을 계산한 화면이다.

### ㉠ 설계환경으로서의 조립체 모델링 시스템

조립체 모델링 시스템이 그 자체로 설계환경이 되기 위해서는 초기 설계 단계에서 구상되는 설계의도를 그것이 형상정보가 아니라도 포함할 수 있는 구조를 가져야 하며, 설계 진행 과정에서 불균일한 비율로 상세화되어가는 정보들을 일관성 있게 유지하여야 하고, 암시적이며 축약된 형태의 형상 정보를 표현할 수 있어야 하는 등 기존 개념의 CAD 시스템과는 혁신적으로 다른 개념과 기술들을 수용해야 한다. 이를 product design을 위한 조립체 모델링 시스템이라 하는데<sup>1)</sup> 만일 이것이 가능해지면 설계, 해석, 평가, 수정, 생산, 관리에 이르기까지의 모든

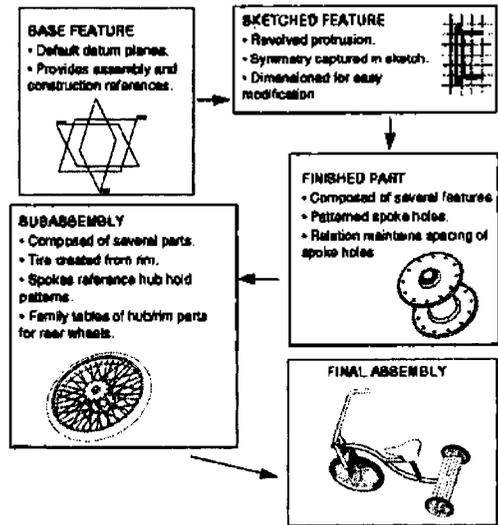


그림 4. Pro/ENGINEER에서의 상향 조립체 모델링 개념.

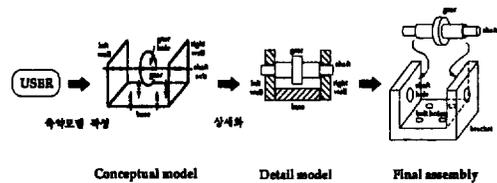


그림 5. 하향 설계식 조립체 모델링 시스템의 기본 개념.

과정에서 단일 데이터 베이스를 사용할 수 있고, 진정한 설계 자동화를 이룩할 수 있다. 이러한 시스템은 필연적으로 하향(top-down) 설계 방식의 형태를 취하게 된다. 현재의 대부분의 시스템의 기본 개념은 그림 4에서 보는 바와 같이 부품으로부터 조립체로 모델링 되어가는 상향(bottom-up)설계 방식이며, 일부 하향방식을 지원하는 것도 매우 제한적이다.

상향 설계 방식의 조립체 모델링은 최근 초기 연구가 시도되었으며,<sup>14)</sup> 축약 형태의 모델을 표현하기 위해 비다양체 모델링 기법을 채용하고 있고 이의 상세화가 일관성 있게 이루어질 수 있도록 특징형상 기법을 채택하고 있다. 그림 5는 하향 설계식 모델링 시스템의 기본 개념을 보여주고 있다.

### ㉠ 공차결정

앞서 얘기한 바와 같이 공차결정을 위해서도 조립체 모델링 시스템이 지원되어야 한다. 최근에는 상

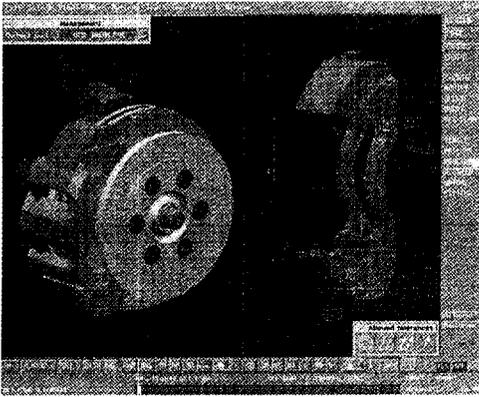


그림 6. CATIA에서 형상 공차의 표시.

용 시스템에서도 일부 기능이 지원되고 있다. 그림 6은 CATIA에서 형상 공차가 계산되어 주어지고 있는 모습이다.

### 3. 향후 연구 과제

이상으로 설명한 바와 같이 최근의 조립체 모델링 시스템에 관한 연구는 assembly planning, tolerance analysis or synthesis 등의 적용 분야와 관련해서 큰 의미를 가지는 경우와 설계환경으로서의 조립체 모델링 시스템이라는 새로운 개념 연구의 큰 두 가지 방향이 있다. 특히 이중에 후자는 많은 연구자들이 그 필요성을 역설하고, 문제점들을 지적하는 등 중요성이 크게 인식되고 있으나 그 방법론조차 아직 정립되지 않았을 정도로 어렵고, 역설적으로 많은 가능성을 가진 연구 분야라 할 수 있다. 특히 최근의 비다양체 모델링 기법의 발달이 그 돌파구를 마련하는데 고무적이라 할 수 있으며, 형상정보로 나타나지 않는 설계의도를 손쉽게 처리할 수 있는 기법이 큰 관건이라 생각된다.

다음은 조립체 모델링에 관해 소개하고 있는 site 들이다.

- <http://www.solidworks.com/html/products.htm>
- <http://www1.ibmblink.ibm.com/HTML/SPEC/g>

2213782.html

- <http://www.machina.hut.fi/prohelp/proe/assembly/starting.htm#1004085>
- <http://www.sdrc.com/pub/catalog/ideas/sets/assembly/>
- <http://www.rci.rutgers.edu/~cwiakala/lecture5.html>
- <http://www.hhman.com/hhman2/intergraph.software/solid/solid/solided1.htm>

### 참고 문헌

1. Sodhi, R. and Turner, J. U., "Towards modelling of assemblies for product design," Computer Aided Design, Vol. 26, No. 2, Feb. 1994.
2. Libardi, E. C. and Dixon, J. R., "Computer Environments for the Design of Mechanical Assemblies: A Research Review," Engineering with Computers, pp. 121-136. 1988.
3. Lee, K. and Gossard, D. C., 1985, "A Hierarchical Data Structure for Representing Assemblies: Part 1," Computer Aided Design, Vol. 17, No. 1.
4. 김성환, 이진우, "하향식 설계방식을 지원하는 새로운 개념의 CAD 시스템," 대한기계학회 논문집, 제 19권 제7호, 1995년 pp. 1604-1618.
5. Luiz S. Hommen de Mello and Sukhan Lee, "Computer-aided mechanical assembly planning," Kluwer Academic Publishers, 1991.
6. Ko, H. and Lee, K., "Automatic assembling procedure generation from mating conditions," Computer Aided Design, Vol. 19, No. 1, 1987.
7. 배석훈, "조립계획 자동화를 위한 조립 순서 자동 생성 시스템의 개발," 박사학위 논문, 서울대학교 기계설계학과, 1995.
8. B. Romney, C. Godard, M. Goldwasser, and G. Ramkumar, "An Efficient System for Geometric Assembly Sequence Generation and Evaluation," Proc. ASME International Computers in Engineering Conference, Boston, 1995, pp. 699-712. Co-winner, Best Paper Award in AI/Feature-Based Design and Manufacturing.