

부품수가 많은 조립체 설계를 위한 동시공학의 구현: Part (I) - BOM에 따른 조립체 중심적 모델링 방법론 -

정 용 호*

Implementation of Concurrent Engineering for Large Assembly Design: Part (I) - Assembly-centric Modeling Methodology as BOM Structure -

Yoong-Ho Jung*

ABSTRACT

Most design changes are due to interferences and fit-up as parts are assembled if such a large product as an automobile or an aircraft is developed by many concurrent engineers.

In this part (I) of the thesis, the assembly-centric modeling methodology with CAD systems is proposed in order to reduce the design changes. Unlike part-centric modeling method, a part is modeled with its own coordinate system which is used in downstream process as machining and measuring. The part coordinates initially have the same orientation as its assembly which is predefined in BOM (Bill of Material). Then, the coordinates origin of the part is moved to its location to be assembled from that of its assembly coordinate system. To implement this methodology, the position data of the part w.r.t. its assembly are stored in a database to build the same hierarchical assembling structure as BOM structure.

This modeling approach has the advantage of reflecting assembling sequence, because the process of positioning parts is similar to that of real assembling. And with the method, a designer can easily adjust all of the part positions of an assembly to resolve interferences if he modifies just the coordinates origin of the assembly, which results in moving included parts and assemblies together.

Key words : Assembly, Mock-up, Database, Concurrent, BOM, CAD

1. 서 론

자동차, 선박, 항공기와 같이 부품수가 10⁴ 차원을 넘는 대형 조립체 개발의 가장 큰 특징은 개발 기간이 길고 다수의 설계자가 동시에 설계를 진행하여야 하며, 방대한 양의 설계정보를 생성하게 된다는 것이다. 이러한 설계정보는 서로 유기적으로 연관되어 있기 때문에, 개발에 참여한 모든 설계자들이 연관된 설계정보의 중복 생산을 방지하고 설계정보간의 상관관계를 유지하면서 개발하기 위해서는 효율적인 설계 방법론과 이를 체계적으로 지원해 줄 수 있는 도구가 필요하다.

종래의 단품 중심의 순차적 설계방법을 살펴보면,

설계자는 스케치 도면으로부터 제도판이나 CAD 시스템을 사용하여 단품도와 조립도를 생성하고, 이를 제작 과정으로 넘기게 된다. 그러면 제작자들은 도면을 바탕으로 최종 제품을 만들기 위한 제작과 조립의 과정을 수행하게 된다. 이때 많은 경우 조립 또는 제작과 관련한 문제가 발생하게 되어 설계자에게 설계 변경을 요청하게 된다(Fig. 1). 이러한 설계 변경을 관련된 설계자들이 유기적으로 완벽하게 처리하지 못하면, 그로 인하여 2차적인 설계변경 요인을 발생시켜 결국 제품의 전체 개발 기간과 비용을 증가시키게 된다. 실제로 이러한 손실비용은 개발 인력비용의 40%에 달하는 경우^[1]도 보고되고 있다. 최근에 이러한 문제점을 해결하기 위해 동시병행 설계(Concurrent Engineering) 개념, 즉 설계 단계에서 설계자와 제작자가 함께 참여하여 설계하는 개념이 시

*정회원, 부산대학교 기계공학부(기계기술연구소)

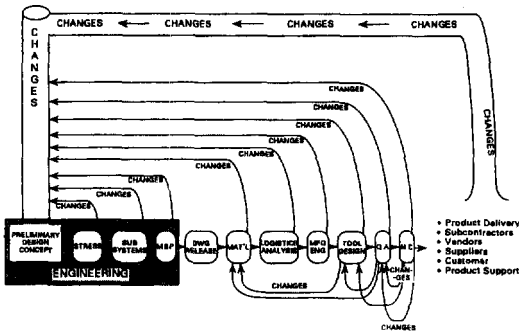


Fig. 1. Design changes with sequential engineering process.

도되고 있다. 이를 위해 지식 기반 시스템을 사용하여 설계자의 설계 과정을 자동화하여 그러한 문제점을 근원적으로 해결하려는 많은 연구^[2,3]가 수행되었으나, 기존의 CAD 시스템을 사용하여 설계하고자 할 때, 설계자의 실수로 인한 간섭 등을 방지하기 위한 보다 체계적인 설계 방법론이나 수단에 대한 연구는 잘 알려져 있지 않다.

본 논문의 (I)편에서는 CAD 시스템을 사용하여 대형 기계 조립체를 개발하고자 할 때, 설계 변경을 감소시키기 위한 체계적인 조립체 중심적인 모델링 방법론을 제시하고, 논문의 (II)편에서는 (I)편에서 제시한 방법에 근거하고 다수의 설계자가 많은 부품을 설계하고자 할 때 조립성을 쉽게 검증할 수 있는 Digital Mock-Up 시스템의 개발을 소개하겠다.

2. 조립체 모델링

지금까지의 "조립체를 위한 설계 방법(Design for assembly, DFA)"에 관한 연구^[4,5,6]에서는, CAD 시스템을 사용하여 효율적으로 조립체를 설계하는 방법 자체보다는 최초의 설계에 대한 설계변경 요청이 있을 때 특정 방법론(예를 들면 '최소 부품수 조건')을 적용하여 새로운 설계 안을 제시하는 방법에 대해 주로 연구되어 왔다(Fig. 2). 즉 대부분의 DFA 방법은 각각의 부품에 대해 그것이 조립될 때 조립과정의 난이도를 계수적으로 측정하고, 이를 전체 조립체에 대해 수치적인 합을 구하여 조립체의 조립성을 평가한다. 이를 바탕으로 궁극적으로는 총 부품의 개수를 줄임으로써 전체 조립공정을 단순화하는 방법에 대해 연구해 왔다. 또한 이러한 과정을 자동화하기 위한 연구도 수행되었지만^[7], 궁극적으로 대형 조립체를 개발할 때 가장 큰 문제점으로 간주되는 설계 변경을 줄이기 위한 구체적인 방안을 제시하지는 못하였다.

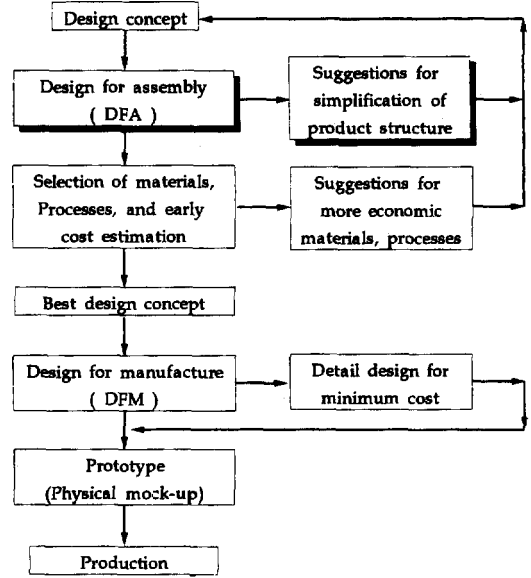


Fig. 2. Typical steps using design for assembly^[4].

다수의 설계자가 동시에 설계해야 하는 대형 조립체의 경우, 조립성 및 제작성과 관련한 설계 변경의 주된 원인은 이웃하는 부품과의 '간섭'과 조립시의 기계적인 '어긋남'에 기인한다. 이는 대형 기계 조립체 개발의 대표적인 사례라고 할 수 있는 Boeing-767의 개발 사례를 통해서도 잘 알 수 있다(Fig. 3).

이러한 '간섭'과 기계적인 '어긋남'을 줄이기 위해, 종래에는 실물 Mock-up을 제작하여 조립성을 검증하였으나, 최근에는 최종 부품들을 제작하여 조립해 보기 전에 CAD 시스템으로 생성한 입체 형상(Solid) 모델을 이용하여 미리 간섭과 조립성을 검증해 보는 방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 즉, CAD 시스템이 생성한 입체 형상 모델을 사용하여 컴퓨터 상에서 가상적으로 조립해 볼 수 있으면, 실제 부품을 조립할 때 발견할 수 있는 설계변경 요인을 미리 찾아낼 수 있을 뿐만 아니라, 수 차례에 걸친 실물 Mock-up의 제작 과정을 줄이거나 없앨 수 있다. 그런데 CAD 시스템을 사용한 이러한 설계 방법이 효과를 얻기 위해서는, 부품을 모델링하는 과정이 단순히 하나의 부품을 제작하기 위한 설계가 아니라 전체 조립을 고려한 설계가 되기 위해 실제 단계에서 제작 과정을 반영할 수 있어야 하고, 또한 다수의 설계자가 동시에 참여하였을 때의 문제점을 체계적으로 대응할 수 있는 조립체 중심적인 설계 방법이 필요하다.

그런데 입체형상을 생성하는 대부분의 CAD 시스템은 조립체를 생성하기 위해 각 부품들의 입체형상

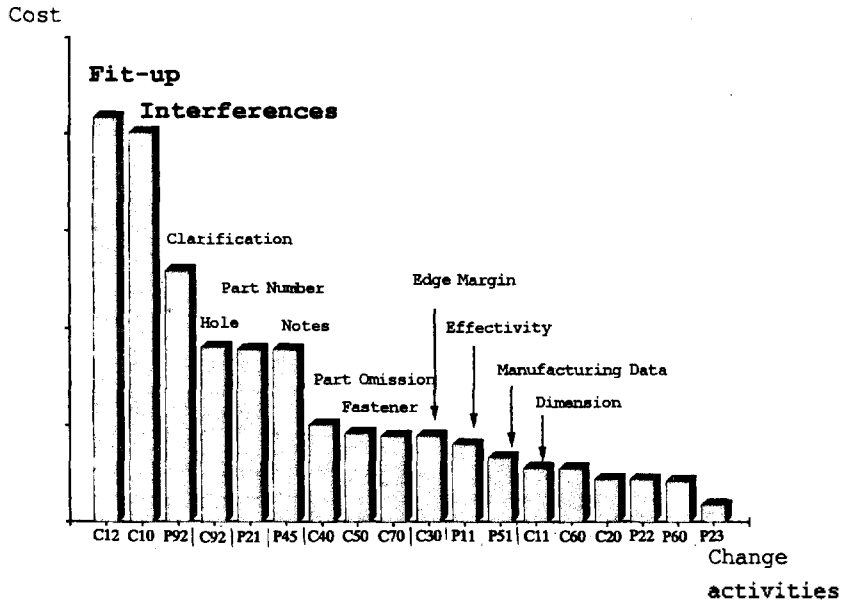


Fig. 3. Cost due to design changes for B-767.

모델 data를 가져와 하나의 파일(file)로 합치는 기능을 제공하고 있다. 그러나 기존의 CAD 시스템은 단품 설계에 초점을 맞추어 개발되었고 조립체 모델링은 그 다음 문제로 간주되었기 때문에, 후속 공정을 반영하고 다수의 설계자의 동시 참여로 인한 문제점을 해결하기 위한 조립체 모델링(Assembly modeling) 방법은 설계자의 부담으로 남아 있다. 본 논문에서는 이러한 조립체 모델링을 구현하기 위해, 기존의 CAD 시스템과 데이터 베이스 관리 시스템(Database management system)의 연계에 의해 보다 체계적으로 조립체 모델링을 구현할 수 있는 방법론을 제시한다.

3. 효율적 조립체 모델링 방법론

3.1 하향 지향적 설계

조립체를 설계하는 방식은 하향 지향적 설계 방식(Top-down approach)과 상향 지향적 설계 방식(Bottom-up approach)으로 대별할 수 있겠다. 상향 지향적 설계 방식은 개발에 참여하는 설계자들이 각자 담당하는 단품들을 먼저 설계한 다음, 이들을 최상위의 조립체로 올라 가면서 설계하는 방식이다. 대부분의 CAD 시스템은 근본적으로 이러한 설계 방식을 지원하고 있다. 이러한 설계 방식은 전체 부품수가 적고 설계에 참여하는 모든 설계자가 각 부품간의 상관 관계와 조립 순서 등을 미리 잘 파악하고 있을 때는 효과적일 수 있다. 그러나 전체 조립 단계

(Assembly level)가 10단계 이상이고 많은 설계자가 동시에 유기적으로 설계를 진행하여야 하는 대형 기계 조립체 개발의 경우, 각 설계자에게 자신이 설계한 부품뿐만 아니라 다른 설계자가 설계한 부품과의 상관 관계와 전체적인 조립 순서 등을 고려하도록 설계하는 것을 기대하기란 어렵다. 따라서 이러한 설계 방식은 많은 설계 오류를 발생시킬 수 있다.

이와는 반대로 하향 지향적 설계 방식은, 모든 부품의 개략적인 형상과 위치 및 기능을 고려하여 전체적인 조립구조를 먼저 정의해 둔다(Fig. 4). 그 다음 정의된 조립구조에 따라 조립체 단위에서 시작하여 최하위 단품의 형상과 위치를 정의하는 설계 진행 방식이다. 즉, 상위 조립체에 대해 조립되는 위치와 조립 순서, 그리고 인접한 조립체와 간섭 등을 고려하여 그 조립체의 기준 위치를 먼저 정의한 후, 이를 기준으로 세부 부품의 형상과 위치를 정의한다. 이러한 방식은 곧바로 단품을 모델링 하려는 설계자에게는 번거로울 수 있으나, 각 부품이 조립되는 순서와 기능을 고려하여 설계할 수 있고 인접한 부품과의 간섭을 고려할 수 있기 때문에 다수의 설계자가 동시에 설계에 참여할 때 발생하는 제반 문제점을 미리 방지할 수 있는 체계적인 방법이다.

따라서 본 논문에서는 대형 기계 조립체의 개발을 위해 하향 지향적 설계 방식을 채택하고, 이를 위해 다음의 두 절에서는 단품 모델링 방식과는 달리 설계하고자 하는 부품의 형상 정보와 위치정보를 분리

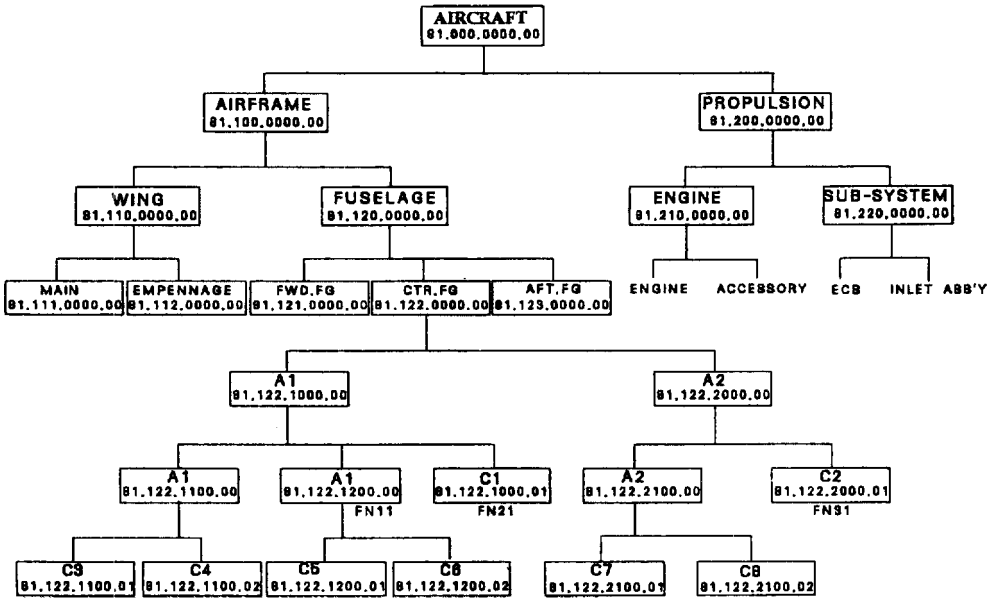


Fig. 4. An example of assembly structure for an aircraft design.

하고, 분리된 위치 정보를 조립 구조에 따라 하향 식으로 저장하는 조립체 모델링 방법을 설명한다.

3.2 위치정보의 분리

물체의 입체 형상을 컴퓨터가 인식하기 위해서는 물체의 위상학적 정보(Topological data)뿐만 아니라 그 기하학적 정보를 수학적으로 표현하여야 한다. 그런데 기하학적 정보를 표현할 때, 일반적인 단품 모델링 방식에서는 최종 조립품의 기준점을 나타내는 절대 좌표계를 기준으로 모든 부품의 기하학적 정보를 정의한다. 즉, 부품의 형상을 나타내는 기하학적 형상 정보(Geometric data)에 그 부품의 위치를 나타내는 위치 정보(Position data)가 함께 표현된다 (Fig. 5). 이러한 모델링 방식은 그 부품의 위치와 형상을 한꺼번에 표현할 수 있기 때문에 자료의 저장 측면에서 효율적인 것처럼 보인다.

그러나 이러한 방식은 후속 공정을 고려할 수 없는 설계 방식이다. 왜냐하면 후속 공정에서 NC 제작을 하고 그 결과를 측정하고자 할 때, 제작자는 전체 조립체의 기준 점인 절대 좌표계가 아니라 그 부품의 고유한 기하학적 특성을 잘 나타내는 기준 위치에서 가공이나 측정을 한다. 따라서 절대 기준 좌표계에서 모델링된 형상 정보를 그대로 사용할 수 없고, 새로운 기준에 따라 수정된 기하학적 data로써 제작하게 된다. 이것은 곧 설계자가 형상을 정의하는 설계 단계에서 후속 공정에서 수행되는 제작 과

정을 반영하지 못함을 의미하며, 이는 곧 순차적 설계 방식의 문제점이 되고 있다.

또한 다수의 설계자가 동시에 설계에 참여하는 부품수가 많은 조립체를 개발할 때, 효율적으로 설계를 수행하기 위해 설계자들은 표준품이나 다른 설계자가 설계한 부품 모델을 그대로 이용할 수 있어야 하는데, 이러한 방식으로 저장된 형상정보는 그대로 사용할 수 없고 사용되는 위치에 따라 매번 그 부품의 위치 정보를 수정하여야 한다. 이러한 번거로움을 없애고 한번 설계된 모델 정보가 호환성을 갖기 위해서는 모델의 기하학적 형상 정보가 위치에 무관하게 표현되어야 하겠다.

따라서 후속 공정에서의 제작성과 측정성을 고려

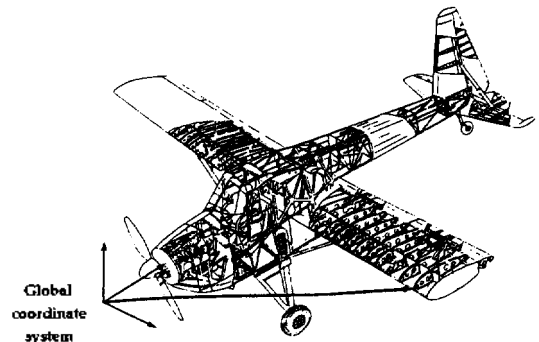


Fig. 5. Conventional part modeling w.r.t. global coordinate system.

한 설계를 위해, 본 논문에서 제안하는 조립체 모델링 방법에서는 기하학적 형상 정보는 그 부품의 제작성을 고려하도록 위치 정보로부터 분리하여 모델링 한다. 그리고 분리한 위치 정보는 하향 지향적 설계 방식을 지원하고 조립 순서를 반영하기 위해, 제품의 목록구조(Bill of material, BOM)에 따라 표현되도록 한다.

3.3 BOM에 따른 조립체 모델링

3.3.1 조립 구조에 따른 위치 정보의 표현

하향 지향적 방식으로 설계하는 것은 먼저 BOM 으로부터 전체 부품의 조립구조를 정의해 두고, 이에 따라 조립체에서 단품으로 설계를 진행해 나가는 방식이다. 이때 BOM은 Fig. 6과 같은 조립구조를 나타내는 나무 구조(Tree structure)로 표현될 수 있는데, 나무 구조에서 '단말 요소(Leaf node)'는 각 단품을 의미하며, 그 나머지 '요소(Node)'는 조립체에 해당된다. 그리고 각 요소를 연결하는 '가지(Branch)'는 상위 조립체에 대한 부자(父子)관계를 나타낸다.

본 연구에서는 모델링 과정이 후속 공정에서의 조립 순서를 반영하기 위해 BOM을 나타내는 나무 구조에서의 '가지'가 곧 "조립"의 의미를 갖도록 하였다. 즉, BOM의 나무 구조에서 최상위에 해당되는 주 조립체(Main assembly)로부터 하향의 순서로 '가지'의 시작점(이하 '상위 요소')이 나타내는 상위 조립체에 대해 '가지의 끝점(이하 '하위요소')'이 나타내는 하위 조립체(또는 단품)의 위치를 정의하도록 한다. 이때 위치를 정의하는 과정이 실제 부품을 조립하는 과정을 모사하기 위해 다음과 같은 과정으로 모델링 한다. 먼저 하위 요소를 모델링 하고자 할 때, 하위 요소의 기준 좌표축이 상위 요소의 기준 좌표축과 같은 위치에 생성되도록 한다. 그 다음, 하위

요소가 단품인 경우 생성된 기준 좌표축에 대해, 앞 절에서 설명한 바와 같이 후속공정을 고려하고 기하학적 특성을 잘 나타내도록 모델링한다. 하위요소가 조립체인 경우는 이 과정을 생략한다. 끝으로 하위 요소의 좌표축을 상위요소의 기준좌표축으로부터 하위요소가 조립되어야 할 위치로 이동시킨다. 이러한 방법으로 모든 부품의 조립 구조가 BOM의 조립 구조를 따르도록 모델링한다.

이와 같은 방식으로 설계를 진행하면, 단품과 조립체의 위치를 정의하는 과정이 실제단품을 조립하는 과정과 유사하기 때문에, 설계자는 설계 단계에서 BOM에 따른 조립 순서를 고려하게 됨으로써 이로 인한 설계 오류를 미리 방지할 수 있다. 또한 설계 진행 도중에 이웃하는 부품과의 간섭을 발견하였을 때, 조립체 단위로 이동이 용이하여 그러한 문제를 보다 용이하게 해결할 수 있다. 즉, 모든 단품의 위치가 절대 좌표계에 대해 표현되는 단품 모델링 방식에서는 부품간의 간섭 현상을 발견하였을 때, 간섭과 관련한 모든 단품의 위치를 하나씩 다시 정의하여야 하고, 이로 인한 인접한 부품들의 위치까지 변경하여야 하는데 이러한 과정은 점점 확산되기도 한다. 그러나 BOM에 따른 조립체 모델링 방식의 경우는 해당되는 조립체의 위치 매트릭스만 변경하면 포함된 모든 단품의 위치가 자동적으로 이동되고, 간섭을 피하기 위한 최소 단위의 조립체로부터 하향식으로 해당되는 요소의 위치를 이동하면 설계 변경을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 보다 체계적으로 대응할 수 있는 장점을 가진다.

본 연구에서는 이러한 설계 방법을 구현하기 위해, 조립체인 경우는 형상을 표현하는 모델이 없고 상위의 조립체에 대한 자신의 기준 좌표축의 위치만 정의한다. 단품인 경우 후속 공정을 고려한 기준 축에 대해 정의된 형상 모델과 함께, 상위 조립체의 기준 좌표축으로부터 형상 모델의 좌표축의 위치를 정의하는 정보를 갖도록 한다. 그리고 최상위의 주 조립체는 절대 좌표계로부터 자신의 위치를 정의하도록 하지만, 일반적으로 절대 좌표계를 주 조립체의 기준 축으로 정의한다. 상위 조립체로부터 자신의 위치를 표현하는 방법은 상위 조립체의 기준축으로부터 자신의 좌표축의 위치까지 평행이동과 회전이동을 함께 표현하는 매트릭스(Matrix) 형태로 나타낸다.

예를 들어, Fig. 7(a)와 같이 전체 제품의 조립구조가 나무구조로 표현되어 있을 때, 단품 P를 제안된 방법으로 모델링 하는 과정은 다음과 같다. Fig. 7(b)에서, 먼저 절대 좌표계의 원점의 위치에 생성

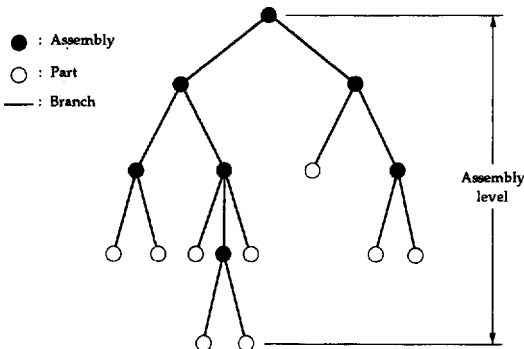


Fig. 6. Tree structure for assembly. ● : Assembly, ○ : Part, — : Branch.

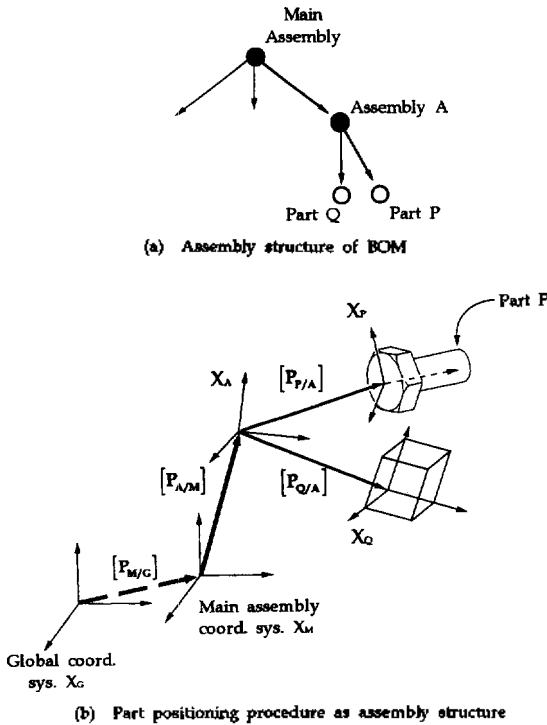


Fig. 7. Assembly modeling.

되는 주 조립체의 좌표축 X_M 을 최종 조립품의 기준 위치로 이동시키는데, 일반적으로 X_G 의 위치에 그대로 둔다. 그 다음 주 조립체의 좌표축 X_M 과 같은 위치에 생성되는 조립체 A의 좌표축 X_A 를 조립되어야 할 위치로 이동시키는데, 이 과정은 위치 매트릭스 $[P_{A/M}]$ 로 표현되도록 한다. 그 다음 단품 P를 모델링 하기 위해, 마찬가지로 방법으로 상위 조립체의 좌표축인 X_A 와 같은 위치에 생성되는 X_P 에 대해 후속 공정을 고려하여 모델링하고, 단품 P의 좌표축 X_P 를 X_A 로부터 조립되는 위치로 이동시킨다. 위치의 이동은 상위 조립체의 기준좌표축인 X_A 로부터 이동된 좌표축 X_P 까지의 위치 매트릭스 $[P_{P/A}]$ 로 표현된다. 단품 P의 주 조립체에 대한 상대적인 위치는 BOM의 나무구조에서 주 조립체로부터 자신까지의 경로를 나타내는 모든 위치 매트릭스의 순차적인 곱(식 (1)의 우측 식)으로 정의되는데, 일반적으로 주 조립체는 절대 좌표계에서 정의되므로 주 조립체에 대한 상대적인 위치 $[P_{P/M}]$ 가 곧 단품 P의 절대 위치 $[P_{P/G}]$ 가 된다. 모델링된 단품의 형상 정보와 상위 조립체에 대한 위치 정보는 연관 관계를 가지되 분리하여 저장되는데, 이는 다음 절 3.4에서 설명된다.

$$[P_{PG}] = [P_{PM}] = [P_{PA}] \times [P_{AM}] \quad (1)$$

where G : Global coordinate system

M : Main assembly coordinate system

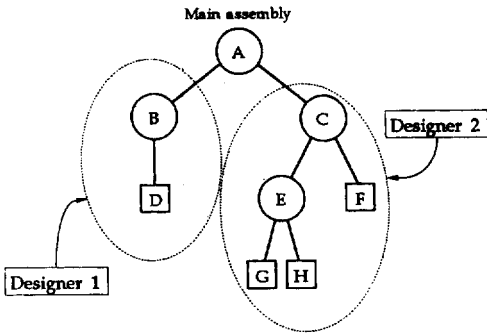
A : Assembly coordinate system

3.3.2 다수의 설계자에 의한 조립체 모델링

제한된 조립체 모델링 방법은 설계 진행 과정이 곧 조립된 결과를 나타내므로, 다수의 설계자가 설계를 진행할 때 각 설계자는 할당된 설계 영역에서 BOM 구조에 따라 모델링하면 자동적으로 조립체가 구성된다. 따라서 부품수가 많은 대형 조립체를 개발하고자 할 때 보다 체계적인 설계 방식이다. 이제 다수의 설계자가 동시에 설계를 진행하고자 할 때 제한한 조립체 모델링 방식이 어떻게 하향 지향적 설계를 구현하는지를 보이기 위해, 두 명의 설계자가 동시에 설계를 진행하는 경우를 이차원의 예를 들어 설명하겠다. 부품의 전체 조립구조가 BOM으로부터 Fig. 8(a)와 같이 구성되어 있을 때, '설계자1'은 조립체 B 이하의 설계를 담당하고, '설계자2'는 조립체 C 이하의 설계를 담당한 경우이다.

Fig. 8(b)에서 첫번째 단계로서 '설계자' 1, 2는 각각 최종 조립체의 축 X_A 와 같은 위치에 조립체 축 X_B, X_C 를 생성한 후, 축 X_A 를 기준으로 각각 조립되는 위치로 이동한다. 그 다음 두번째 단계에서, '설계자 1'은 조립체 축 X_B 와 동일한 위치에 생성되는 단품 D의 축 X_D 를 기준으로 후속 공정에서의 가공 및 측정용 고려하여 단품 D의 형상을 모델링한 후, 이를 실제 조립되는 위치에 두기 위해 단품의 축 X_D 를 이동시킨다. 한편 '설계자 2'의 경우, 조립체 축 X_C 와 동일한 위치에 생성되는 조립체 E의 축 X_E 를 실제 조립되는 위치로 이동시킨다. 그리고 '설계자1'이 단품을 설계하는 방법과 마찬가지로 단품 F를 모델링 하고 조립되는 위치로 이동시킨다. 그 다음 세번째 단계로서, '설계자 2'는 조립체 E에 대하여 단품 G, H를 모델링 하는 과정을, '설계자 1'이 조립체 B에 대하여 단품 D를 모델링하는 과정과 마찬가지로 방법으로 수행한 후, 조립체 축 X_E 를 기준으로 각 단품의 축 X_G, X_H 를 조립 위치로 이동시킨다. 이와 같이 각 설계자는 할당된 설계 영역에서 상위 조립체에 대해 설계를 진행하면 전체 설계 결과가 Fig. 8(b)의 하단부와 같이 자동으로 구성된다.

이러한 설계 방법은 각각의 설계자가 각 단품이 가공되는 후속 공정에서의 특징을 가장 잘 나타낼 수 있도록 모델링 할 수 있으며, 실제 부품이 조립되는 과정과 유사하게 설계 과정을 진행할 수 있다. 또



(a) Assembly structure of BOM

	Designer 1	Designer 2	
Step 1			
Step 2			
Step 3			
Result			

(b) Assembly modeling steps and the result

Fig. 8. Assembly modeling procedure by two designers.

한 각자의 한정된 설계 영역에서 조립구조를 따라가면서 상위 조립체에 대해 설계를 진행하면 전체 조립체가 자동으로 모델링되어, 하향 지향적 설계를 구현할 수 있다.

3.4 모델 정보의 관리

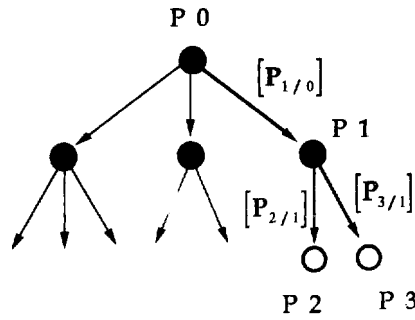
제안된 조립체 모델링 방법은 단품의 형상 정보와 위치 정보를 분리하며, 위치 정보를 BOM의 조립 구조에 따라 상위 조립체에 대한 상대적인 위치로 정의하도록 하였다. 이를 구현하기 위해 본 연구에서

는 Fig. 9(b)와 같이 세가지 데이터 베이스 테이블을 정의하고, 이들을 관계형 데이터 베이스 관리시스템 (Relational Database Management System, R-DBMS) 을 사용하여 유기적으로 관리하도록 한다. 관계형 데이터 베이스 관리시스템을 사용하는 가장 큰 이유는, 본 연구에서 제안한 하향 지향적 조립체 모델링을 구현하기 위해 상위 조립체로부터 하위의 조립체나 부품을 생성 또는 추가하는 과정을 용이하게 처리할 수 있기 때문이다.

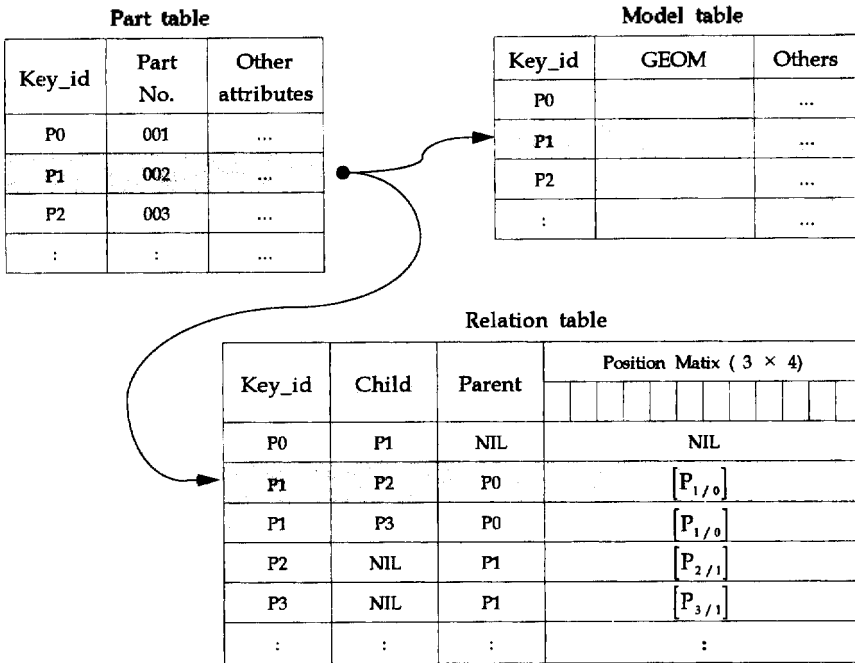
Fig. 9(b)에서 각 테이블들은 'Key_id'라는 공통 인자를 가짐으로써 서로 유기적으로 연결되어 동일한 'Key_id' 값을 갖는 정보는 모두 동일한 부품에 관한 정보를 나타낸다. "Part table"은 전체 데이터 베이스의 기본이 되는 것으로서, 모든 부품에 대한 정보, 즉 부품 번호, 재질 등 그 부품에 관한 모든 속성 인자(Attribute)들을 저장한다. "Model table"은 제안된 방식으로 모델링 된 부품의 형상 정보를 'GEOM'의 항목에 저장한다. "Relation table"은 BOM 조립 구조에서 상위 조립체와 하위 부품간의 상관 관계를 나타내는데, 각 행에 해당되는 부품의 부모의 'Key_id' 값을 'Parent' 항목에, 자식의 'Key_id' 값을 'Child' 항목에 저장하고, 상위 조립체의 축에 대한 그 부품의 상대적인 위치를 'Position Matrix' 항목에 저장한다.

예를 들어 조립 구조가 Fig. 9(a)와 같고 각 부품의 고유 번호인 'Key_id' 값이 P0, P1, P2, P3로 주어졌을 때, P1에 대한 상관 관계는 "Relation table"의 두번째 행과 세번째 행에 정의되어 있다. 즉 그 자식이 P2인 경우는 두번째 행에서 'Child' 항목은 P2로, 'Parent' 항목은 P0로 정의되며, 상위 조립체인 P0에 대한 상대적인 위치를 나타내는 위치 매트릭스의 12개의 항목 값이 'Position Matrix' 열에 저장된다. 세번째 행은 P1의 자식이 P3인 경우를 나타낸다. 주 조립체인 P0의 경우 첫번째 행에 정의되어 있는데, 부모 부품이 없으므로 'Parent' 항목과 'Position Matrix' 항목은 공란을 표시하는 'NIL'로 표시되고, 네번째와 다섯번째 행에 저장되어 있는 최종 단품인 P2, P3의 경우는 'Child' 항목이 'NIL'로 표시된다.

이와 같은 방법으로 모든 부품의 상관 관계를 관계형 데이터 베이스의 테이블에 정의해 두면, 주 조립체로부터 특정 단품까지의 경로를 찾을 수 있으므로 그 단품의 공간적인 위치는 그 경로 상의 모든 위치 매트릭스의 곱을 구하면 결정할 수 있다. 관계형 데이터 베이스의 테이블을 이용하여 특정 단품의 공간적 위치를 구하는 과정을 P3의 예로서 설명하면 다음과 같다. 즉, "Relation table"의 모든 행을 탐색



(a) Assembly structure



(b) Database tables

Fig. 9. Database design for assembly modeling.

하면서 'Key_id' 값이 구하고자 하는 단품의 'Key_id' 값 P3와 같은 다섯번째의 행을 찾고 이 때의 'Parent'의 'Key_id'값인 P1과 'Position Matrix' 열의 값[P_{3/1}]을 기억해 둔다. 그 다음, 다시 테이블을 탐색하여 앞 단계의 탐색에서 기억하고 있는 P1과 같은 'Key_id'값을 갖는 두번째 행을 찾아, 그 때의 'Parent'의 'Key_id'값인 P0와 'Position Matrix' 열의 값[P_{1/0}]을 기억해 둔다. 이와 같은 과정을 'Parent'의 'Key_id'값이 'NIL'인 경우가 될 때까지 반복한다. 그 다음 기억된 위치 매트릭스들을, 다음 식 (2)과 같이 기억된 역순으로 곱하면 주 조립체인 P0에 대해 최종 단품인

P3의 상대적인 위치가 정해지는데, 일반적으로 주 조립체는 절대 좌표계에서 정의되므로 주 조립체에 대한 상대적인 위치가 곧 P3의 절대 위치가 된다.

$$[P_{30}] = [P_{31}] \times [P_{10}] \tag{2}$$

5. 검토 및 결론

많은 설계자가 동시에 개발에 참여해야 하는 부품 수가 많은 기계 조립체를 개발할 때, 순차적 단품 중심의 설계 방식은 후속 공정과 조립성을 고려하지 못

함으로 인해 많은 설계 변경 요인을 발생하는 문제점이 제기되었다. 본 연구의 (I)편에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 하향 지향적 설계 방법을 채택하고 BOM과 연관된 조립체 모델링 방법을 제시하였다. 그 근본적인 개념은, 단품의 모델링과는 달리, 후속 공정에서 가공되는 좌표축을 기준으로 모델링하고, 이를 BOM의 조립 구조에 따라 상위 조립체의 좌표축에 대해 조립되는 위치로 이동시킨다는 것이다. 이를 구현하기 위해, 단품의 형상 정보와 상위 조립체에 대한 상대적인 위치를 나타내는 위치 정보로 분리하고, 위치정보는 BOM에 따라 상위 조립체 축에 대한 위치 매트릭스를 정의하여 저장한다.

이러한 조립체 모델링으로 설계되면, 첫째 설계자에게 조립순서와 동일하게 설계를 진행하게 할 수 있다. 설계자는 설계를 할당 받게 되면 곧바로 단품의 모델링으로 뛰어들어 상향 지향적 설계 방식으로 설계하려는 경향이 있는데, 이러한 방식은 후속 공정에서의 조립 순서 및 연관된 설계를 고려하기가 어려워지기 때문에 이로 인해 많은 설계변경 요인이 발생하게 된다. 본 연구에서 제안한 조립체 모델링 방식은 단품 또는 조립체의 위치를 BOM의 조립 순서에 따라 정의하게 하였으므로, 단품의 위치를 정의하는 과정이 실제 부품을 조립하는 과정과 유사하여 조립 순서를 고려한 설계가 진행되도록 하는 장점을 갖는다.

둘째, 설계를 진행하는 과정에서 조립체 단위로 위치 조정이 용이하다. 만약 설계 도중 또는 설계 후 이웃하는 부품 또는 조립체와의 간섭을 발견 하였을 때, 제안한 조립체 모델링 방법은 단품 뿐만 아니라 조립체 단위로 위치 조정이 매우 간단하므로 이러한 설계 변경을 보다 체계적으로 대응할 수 있게 해준다. 즉, 조립체의 좌표 축의 위치만 이동하면 그 하위의 모든 단품과 조립체의 위치가 함께 이동되고, 간섭을 피하기 위한 최소 단위의 조립체로부터 하향식으로 해당되는 요소의 위치를 이동하면 설계 변경을 최소화할 수 있다. 따라서 공간을 분할하여 설계하는 하향 지향적 설계 개념을 구현함으로써 궁극적으로는 동시 병행 설계 개념의 장점을 얻을 수 있다.

셋째, 단품 모델의 유용성을 높인다. 기존의 단품 모델링은 부품의 형상정보와 위치정보를 통합하여 하나의 데이터로 표현한다. 그러나, 제안된 조립체 모델링은 부품의 형상정보와 위치정보를 분리하고, 부품의 특성을 잘 나타내는 자신의 고유의 축에 대해 형상을 정의하므로 사용되는 위치에 무관하여 형상을 다시 모델링하거나 형상 정보를 수정할 필요없

이 그대로 사용할 수 있다.

제한한 조립체 모델링 방식은 단품 모델링 방식에 대해 상기와 같은 장점들을 가지지만, 그 효과를 검증하기에는 어려움이 있었다. 특히 제한한 설계 방법론은 다수의 설계자가 많은 부품수로 구성된 대형 기계 조립체를 개발할 때 보다 체계적이고 효과적인 것으로 간주 되지만, 그러한 대형 제품의 개발에 두 가지 설계 방식을 따로 따로 적용하여 그 효과를 비교, 측정하는 것은 비용과 시간을 고려해볼 때 현실적으로 불가능하였다. 현재의 단계에서는 본 논문의 (II)편에서 소개되는 시스템과 함께 대형 조립체 개발의 일부분에 대해 적용 시험을 준비중에 있다.

논문의 (II)편에서는, 논문의 (I)편에서 제시한 모델링 방법을 지원하고, 조립성이 문제시 되는 부분을 쉽고 다양한 방법으로 확인할 수 있는 Digital Mock-Up 시스템의 개발을 소개하겠다.

후 기

본 연구는 한국 IBM, Dassault Systemes(프)와 공동으로 수행되었다.

참고문헌

1. Boeing Commercial Airplane, B-777 Preferred Process Overview, D928W108-R1, Nov. 1990.
2. Park, H., Conru, A.B., Cutkosky, M.R. and Lee, S. H., "An Agent-Based Approach to Concurrent Cable Harness Design," *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AI EDAM)*, No. 8, pp. 45-61, April, 1994.
3. Cutkosky, M.R., Engelmire, R.S., Fikes, R.E., Genesereth, M.R., Gruber, T.R., Mark, W.S. and Tenenbaum, J.M., "PACT: an experiment in integrating concurrent engineering systems," *Computer*, Vol. 26, No. 1, pp. 28-37, Jan. 1993.
4. Boothroyd, G., "Product design for manufacture and assembly," *Computer-Aided Design*, Vol. 26, No. 3, pp. 505-520, Jul. 1994.
5. Sturges Jr, R.H. and Kilani, M.I., "Towards an integrated design for an assembly evaluation and reasoning system," *Computer-Aided Design*, Vol. 24, No. 2, pp. 67-79, Feb. 1992.
6. Hsu, W., Lee, C.S.G. and Su, S.F., "Feedback approach to design for assembly by evaluation of assembly plan," *Computer-Aided Design*, Vol. 25, No. 7, pp. 395-410, Jul. 1993.

7. Li, R. and Hwang, C., "A framework for automatic DFA system development," *Computer Ind. Engineering*, Vol. 22, No. 4, pp. 403-413, 1992.



정 용 호

1983년 부산대학교 기계설계학과 학사
 1990년 서울대학교 기계설계학과 석사
 1993년 서울대학교 기계설계학과 박사
 1983년 ~ 1988년 삼성항공산업(주), 정밀기
 기연구소

1993년 ~ 1996년 삼성항공산업(주), 항공우
 주연구소

1996년 ~ 현재 부산대학교 기계공학부
 조교수

관심분야 : Solid modeling, F.E. Mesh
 generation, Rapid prototy-
 ping, Concurrent Engineering