

〈論 文〉

동역학 및 기구학적 해석을 위한 조립체 모델링 시스템

김 성 환* · 이 건 우**

(1988년 10월 27일 접수)

An Assembly Modeling System for Dynamic and Kinematic Analysis

Sung Hwan Kim and Kunwoo Lee

Key Words Assembly Modeling(조립체 모델링), Dynamic Analysis(동역학적 해석), Mating Condition(만남조건), Assembly Data Structure(조립체 자료 구조), Joint Information(조인트 정보), Interactive System(대화식 시스템)

Abstract

An assembly modeling system, with which a designer can interactively create an assembly of components ready for the dynamic analysis, has been developed. In this system, an assembly model is created from the mating conditions between the components in the assembly, and then most information required for the dynamic or kinematic analysis packages are derived. For this development, the following problems have been solved; the creation of assembly data structure, the structuring of the assembly data, the derivation of the joint information, the inference of each component's position, and the creation of the joint coordinate systems. Through this work, the designer can easily model an assembly by assigning mating conditions, and check the dynamic or kinematic performance with the automatic creation of inputs for the assembly analysis packages.

1. 서 론

근래의 기계분야의 전산기 이용설계(CAD)는 형상 모델링 시스템(Geometric Modeling System)을 기본 도구로 하여 각 독립된 부품의 설계 및 해석에 중점을 두어왔다. 그러나 이런 형상 모델링 시스템들⁽¹⁻³⁾은 개별적 부품의 설계에 비해 동역학이나 기구학적 특성에 관심을 둔 조립체의 설계에는 비교적 제한된 기능을 제공하고 있다. 이들 시스템들의 문제점은 첫째로 사용자로부터 많은 양의 입력과 노력을 요구한다는 점이다. 조립체를 정의하기 위하여 초보적인 기능만을 제공하는 시스템⁽³⁾의 경우에는 사용자가 각 부품을 화면 상에서 정확

한 조립위치로 옮겨야 하며 이 작업은 사용자에게 매우 어렵고 실수가 생기기 쉽다. 또한 이런 개념의 조립체는 부품들이 어떻게 연결되어 있는가 하는 정보를 가지고 있지 않다. 한편 부품간의 연결 정보를 포함하도록 조립체를 정의하는 시스템^(1,2)에서도 조인트(joint)의 종류와 그에 해당하는 조인트 좌표계(joint coordinate system)등 여전히 입력양이 많다. 두번째는 기존 시스템들이 동역학 또는 기구학적 해석을 가진 자신의 해석 프로그램(program)에 의존하고 있기 때문에 ADAMS⁽⁴⁾ 또는 DADS⁽⁵⁾등 범용 해석 프로그램과 연결시켜 사용하는 것에 비해 자유롭지 못하고 기능이 제한된다는 점이다.

이 논문의 목적은 사용자가 부품간의 연결정보로는 단지 만남조건(mating condition)만을 입력함으로써 조립체가 생성이 되고 또 그로부터 동역학 또

* 서울대학교 대학원

** 정희원, 서울대학교 공과대학 기계설계학과

는 기구학적 해석 프로그램과의 연결을 위한 정보가 유도되는 조립체 모델링 시스템(assembly modeling system)을 개발하는 것이다. 만남조건을 통해 조립체를 생성하는 방법은 이미 Rocheleau와 Lee⁽⁶⁾에 의해 개발되었으나 그들은 주로 각 부품의 위치를 찾아내는 데에만 관심을 두었고 본 논문에서는 그것의 확장으로 해석 프로그램과 연결시키는데 필요한 정보의 유도를 추가로 고려하였다. 본 논문에서 고려된 문제들은 다음과 같다.

- 조립체 자료 구조(assembly data structure)
- 조립체 자료의 구조화(structuring)
- 만남조건으로부터 조인트 정보의 유도
- 각 부품의 위치의 유도
- 조인트 좌표계의 생성

Fig. 1은 동역학적 특성을 고려하여 조립체를 설계할 때 본 시스템이 어떻게 사용되어질 수 있는가를 표시하며, 본 연구의 고려 범위를 점선의 사각형으로 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 각 독립된 부품의 생성 및 해석 결과에 따른 수정을 위하여 형상 모델링 시스템이 필요하므로 본 시

스템에는 B-Rep⁽⁷⁾ 형태로 물체를 저장하는 형상 모델링 시스템이 포함되었고 이 또한 Rocheleau의 연구에 비해 확장된 점이다

2. 조립체 자료 구조

조립체 모델링 시스템을 개발하기 위해서는 부품간의 관계를 표현하는 방법과 각 독립 부품을 표현하는 방법이 필요하다. 독립 부품의 표현은 본 시스템에 포함되는 형상 모델링 시스템에 의해 정해지게 되는데 여기서 사용되는 자료 구조는 윙드 에지 데이터 구조(winged-edge data structure)^(8,9)를 확장한 것이다. 이제 부품간의 관계를 나타내는 문제는 어떤 종류의 정보를 어떤 구조에 저장하는가 하는 문제로 나뉘어질 수 있다.

이를 위하여 몇가지의 조립체 자료 구조가 연구되었으며⁽¹⁰⁻¹³⁾, 본 연구에서는 Lee⁽³⁾에 의해 제안된 가상 링크 데이터 구조(virtual link data structure)가 선택되었는데, 그것은 이 구조가 저장하는 자료의 종류가 대화식으로 받아들이기 적합하며 비교적 적은 양의 입력을 요구하기 때문이다. 이 구조의 내용과 장점을 요약하면 다음과 같다. 우선 다른 자료 구조의 경우에는 부품간의 관계를 표현하기 위해 변환행렬(homogeneous transformation matrix) 또는 조인트의 종류 및 그에 따른 조인트 좌표계(joint coordinate system)를 사용하는데 비해 가상 링크(virtual link)구조는 만남조건으로 부품간의 관계를 완전히 표현한다. 만남조건은 조립체내의 부품사이에서 관찰될 수 있는 보다 근본적인 연결관계이며 Lee⁽¹³⁾의 자료 구조에서는 '어게인스트 조건(against condition)' 및 '피츠 조건(fits condition)'의 두가지를 고려하였다. 또한 가

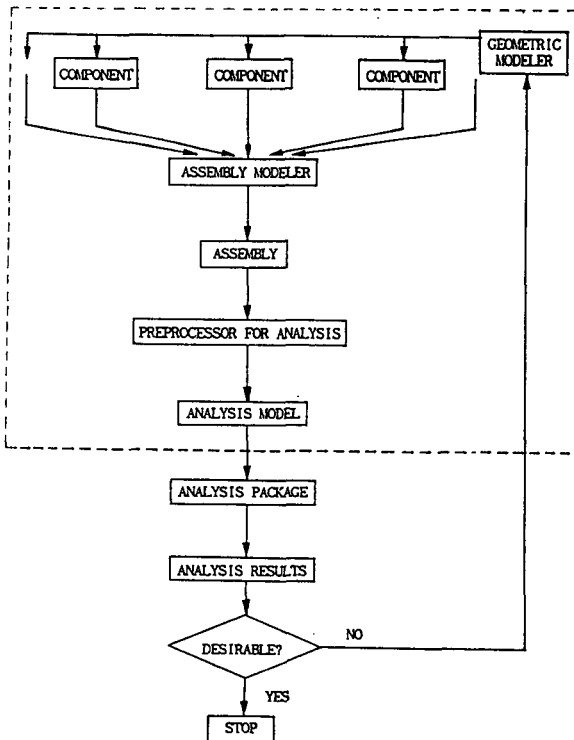


Fig. 1 Design procedure of an assembly

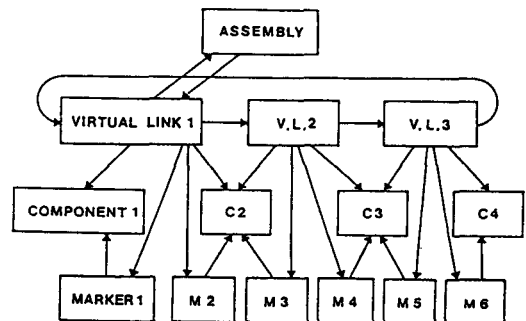


Fig. 2 Assembly data structure for joint information

상 링크 데이터 구조(virtual link data structure)에서는 부품과 부품사이 또는 부품과 부 조립체사이에서 발생하는 만남조건들을 포함하여서 부품사이를 가상적으로 연결하여 주는 '가상 링크(virtual link)'의 개념을 도입하였다. 따라서 가상 링크는 연결관계가 생기는 부품사이에서 항상 발생하게 된다. 이를 이용하여 조립체 모델은 만남조건만으로 구성될 수 있으며 각 부품의 위치와 방향은 자동적으로 유도될 수 있다^(6,14). 결국 이 만남조건이 그래픽 화면상에서 평면 또는 중심축등을 지적함으로써 할당되어질 수 있기 때문에(만남조건을 정의하기 위해 지적되는 평면 또는 중심축등을 만남형상(mating feature)이라고 한다) 설계자는 대화식으로 조립체 모델을 구성할 수 있게 된다.

본 연구에서는 이 자료 구조를 조인트 정보도 포함하도록 확장하였다. 조인트 정보를 저장하기 위하여, 다른 많은 조립체 모델링 시스템이나 해석 시스템에서 사용하고 있는 조인트 좌표계(joint coordinate system)의 개념이 사용되었다. (조인트 좌표계를 어떤 시스템에서는 'marker'라고도 부른다.) 여기서 특기할 것은, 조인트 좌표계가 기존 시스템에서는 입력으로 요구되는데 반해 본 시스템에서는 내부에서 자동으로 계산되어진다는 것이다. 두 부품 사이에 조인트가 존재할때 그 정보를 조인트 좌표계를 사용하여 나타내려면 조인트의 종류와 각 부품에 부착된 각각의 조인트 좌표계가 필요하다. 예를 들어 회전 조인트(revolute joint)의 경우에 이를 표현하기 위한 두개의 조인트 좌표계는 원

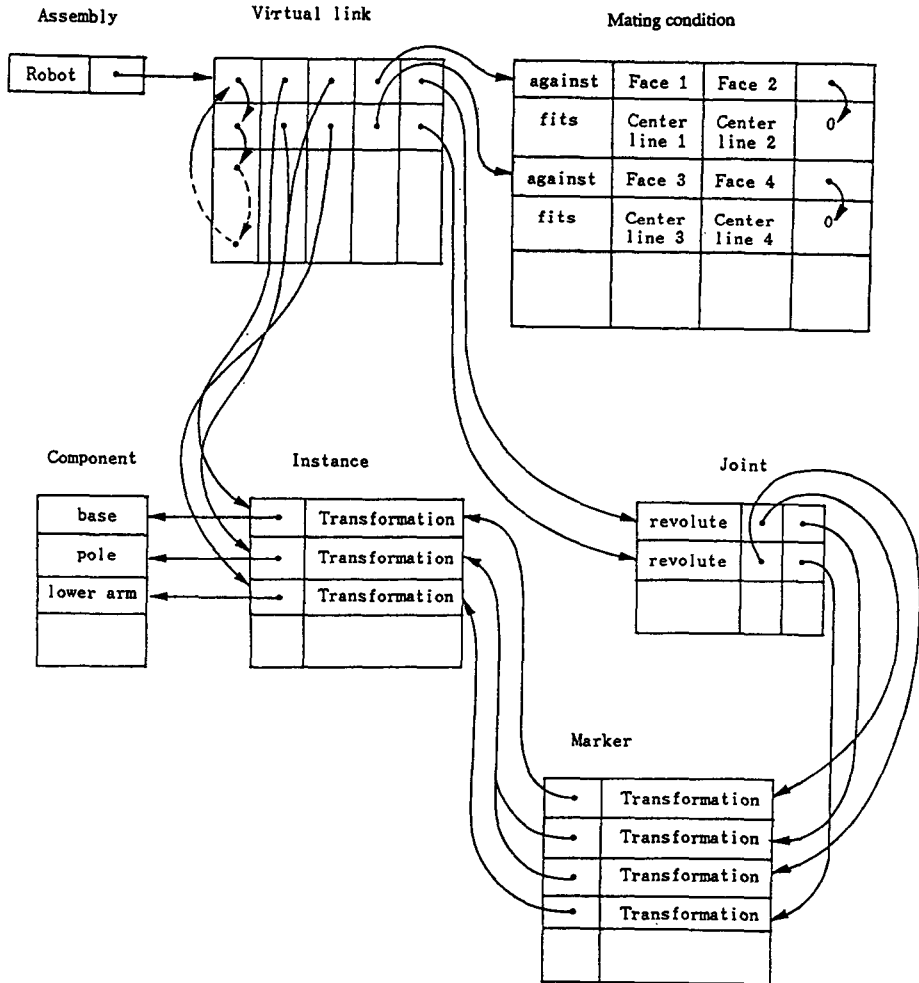


Fig. 3 Arrays and their contents for an assembly

점의 위치와 z축의 방향이 일치해야 하며 또한 그 원점은 조인트 축위에 놓여야 하고 z축의 방향과 조인트축의 방향이 같아야 하는 조건들을 만족시키게끔 생성되어진다⁽¹²⁾. 따라서 조인트 좌표계가 주어지면 조인트의 위치 및 그에 따른 상대운동을 기술할 수 있게 된다.

그리하여 가상 링크 데이터 구조가 조인트 좌표계를 포함함으로써 조인트 정보를 저장할 수 있도록 Fig. 2에 표시되어 있는 바와 같이 수정되었다. 그림에서 각 가상 링크는 두개의 만나는 부품과 각 조인트 좌표계를 지적하며 가상 링크 내부에는 조인트 종류와 만남조건이 저장되어진다. 한편, 저장 내용 중 만남조건이 사용자의 입력 내용이고 그 외에 조인트 종류, 조인트 좌표계 및 조인트 좌표계의 자기가 부착되어진 물체 좌표계에 대한 변환행렬등은 자동적으로 계산되어지는 내용이다. 이 저장구조를 구현하기 위한 배열 변수와 그 내용이 Fig. 3에 표시되어 있다.

3. 조립체의 구조화

만남조건이 입력이 끝나게 되면, 전체 조립체는 각 부품이 정점(node)에, 또 각 가상 링크가 간선(branch)에 해당되는 만남 그래프(mating graph)라는 일종의 그래프 구조로 표현되어질 수 있다. Fig. 5는 Fig. 4에 표시된 7개의 부품의 조립체에 대한 만남 그래프를 표시한다.

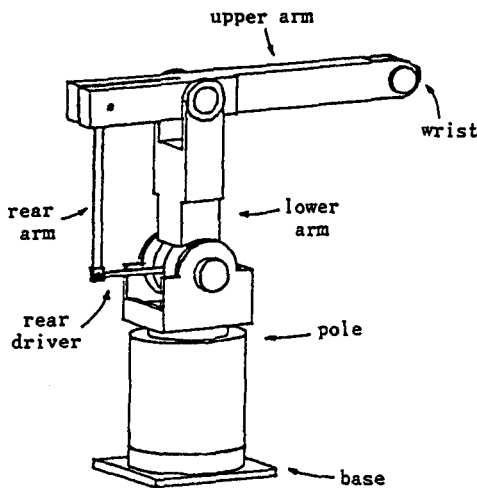


Fig. 4 An example assembly

이 조립체를 효과적으로 취급하기 위하여는 만남 그래프를 몇개의 부분으로 분리할 필요가 있는데 이것이 구조화 작업이다. 구조화 작업의 필요성은 크게 두가지를 들 수 있겠는데 그중 첫째는 정확한 조인트 정보를 얻기 위함이다. 만남조건에서 조인트 정보의 유도는 다음 절에서 언급되어 있는 바와 같이, 관심있는 가상 링크가 만남 그래프에서 닫힌 루프(closed loop)내에 있는지 아닌지에 따라서 구분이 되어야 하며 이 정보는 구조화 작업을 통하여 알 수 있게 된다. 두번째 구조화의 필요성은 각 부품의 위치를 계산하기 위하여 동시에 풀어야 할 연립방정식의 수를 최소화하기 위함이다. 각 부품의 위치를 계산해 내기 위해서는 Rocheleau가 제안한 바와 같이 구속조건식을 구성하여야 하는데, 일반적으로 Rocheleau가 했던 것처럼 모든 만남조건으로부터 한벌(set)의 연립방정식을 얻어낼 필요는 없고 조립체를 몇개의 부분으로 나누어 각각의 구속조건식을 구성하여 풀어낼 수 있다. 예를 들어 Fig. 4의 조립체를 살펴보면 base와 pole사이의 상대 위치의 변화는 다른 부품간의 상대 위치에 변화를 주지 않는다. 이것은 base와 pole사이의 가상 링크가 다른 가상 링크들과 독립적(independent)이기 때문이며 따라서 이런 가상 링크를 독립적이라고 정의할 수 있다. 한편 pole과 rear driver 사이의 상대 위치의 변화는 rear driver에 대한 rear arm의 상대 위치에 변화를 주게 되는데 이는 각 해당 가상 링크끼리 의존적(dependent)이기 때문이다. 따라서 가상 링크들은 서로 의존적인 가상 링크들끼리의 모임인 몇 개의 그룹으로 Fig. 6에서와 같이 나누어질 수 있으며 구속 조건식들은 각

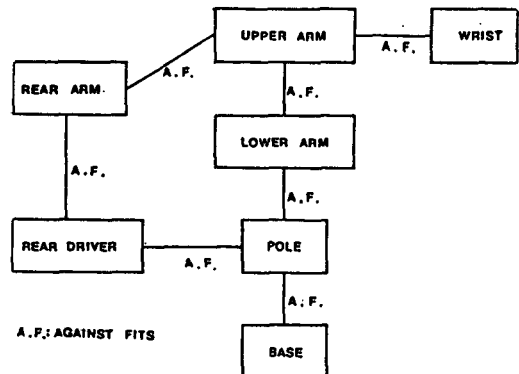


Fig. 5 Mating graph

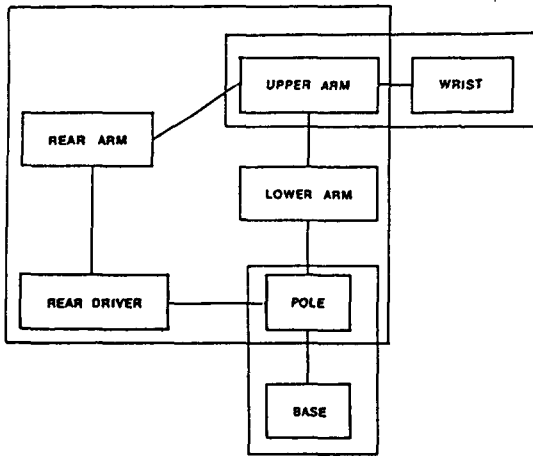


Fig. 6 Division of the mating graph

그룹에 대해 유도되게 된다. Fig. 6에서 조립체는 3개의 그룹으로 나뉘어지며 각 부품의 위치는 3별의 연립방정식으로부터 얻어지게 된다. 그리고 한 그룹내의 임의의 한 가상 링크는 다른 그룹내의 임의의 가상 링크와 독립적이 되므로 지금부터는 이렇게 분할된 그룹을 독립그룹(independent group)이라 부르기로 한다. 한편 이 독립그룹은 두 가지의 종류가 있는데 하나는 닫힌 루프를 포함하는 것이고 다른 하나는 하나의 독립적 가상 링크만을 가지는 것이다.

이제 우리의 관심은 어떻게 이런 독립그룹을 얻어내는가 하는 문제이다. 이를 위하여는 그래프 이론⁽¹⁵⁾을 응용하여 만남 그래프 내의 루프를 탐색하여 이로부터 독립그룹들을 얻어내게 된다. 이 과정을 설명하기 위한 3종류의 그래프가 Fig. 7에 나타나 있다. 이 3개의 그래프는 모두 2개의 독립 루프⁽¹⁵⁾를 가지고 있지만, (a)는 두 개의 루프가 하나의 정점도 공유하지 않으며 (b)와 (c)는 각각 1개와 2개씩의 정점을 공유하고 있는 형태이다. 그런데 일반적인 3차원 조립체에 대하여 추론해 보면 그래프 (a)와 (b)의 형태는 독립루프가 각각의 독립그룹이 되고 그래프 (c)의 형태는 전체로서 하나의 독립그룹이 되는 것을 알 수 있으므로, 두 개 이상의 정점을 공유하는 루프는 같은 독립그룹에 속하며 하나 이하이면 서로 다른 독립그룹에 속하게 된다는 결론을 얻을 수 있다. 한편 어느 루프에도 속하지 않는 가상 링크는 그 자체로서 독립그룹이 된다.

이제 만남 그래프가 분할되면 각 독립그룹의 기

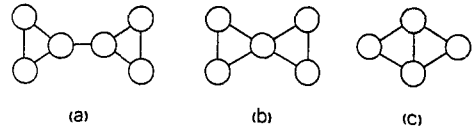


Fig. 7 Three types of mating graph

준 부품이 정해져야 하는데 이는 그 독립그룹 내의 부품들이 위치가 선택된 기준 부품에 대해 구해져야 하기 때문이다 이 그룹 기준 부품(local reference component)은 전체 기준 부품(global reference component)으로부터 가장 가까운 것으로 선정하는 것이 자연스럽다. Fig. 6에서는 base와 pole과 upper arm이 각각의 그룹 기준부품이 된다.

4. 조인트 정보의 유도

본 연구에서는 조립체가 만남조건만으로 표현되므로 그로부터 조인트 정보가 유도되어야 한다. 일반적으로 만남조건은 해당 부품 사이의 상대운동을 제한하는 역할을 한다. 예를 들어 피츠 조건을 가지는 두 부품은 그 중심축 방향의 평행이동과 회전운동만을 할 수 있다. 그러므로 몇 개의 만남조건이 존재한다면 정해진 상대 운동만이 허용되며 이 운동을 명확히 표현할 수 있게 되면 그에 해당되는 조인트 정보를 얻을 수 있다.

한편, 공간 상에서 강체의 운동은 회전운동과 평행이동으로 나뉘 수 있는데 회전축을 나타내는 직선과 평행이동의 방향을 나타내는 직선이 각각의 운동을 표현하는 수단이 될 수 있다. 피츠 조건만을 가지는 앞의 예의 경우에는 중심축에 해당하는 직선이 각 회전운동과 평행이동을 규정짓는 요소가 된다.

이런 개념을 확장하여 어느 부품의 운동은 ‘운동형상(geometry of motion)’이라고 부를 수 있는

Table 1 Elements of geomemtry of motion

1st element	2nd element	3rd element
Point	—	Coordinates of point
Line	Direction of line	A point on line
Plane	Normal direction of plane	A point on plane

Table 2 Geometry of motion for each mating condition

Mating condition	Mating feature	Geometry of motion for rotational motion	Geometry of motion for translational motion
Against	Plane	Line type	Plane type
		Normal vector of the mating plane	Normal vector of the mating plane
		Arbitrary point	Arbitrary point
Fits	Center line	Line type	Line type
		Vector in the direction of center line	Vector in the direction of center line
		A point on center line	Arbitrary point
Spherical fits	Center point	Line type	Point type
		Arbitrary vector	—
		Center point	Center point

점, 선 또는 평면으로 나타내어질 수 있게 되며, 이제 부품의 가능한 운동을 찾는다는 것은 만남조건이 주어진 결과로 생기는 그 부품의 운동현상을 알아내는 문제로 바뀌어질 수 있게 된다. 또 운동형상 자체를 기술하는 방법도 필요하게 되는데 본 연구에서는 세 개의 요소로 표현하였다. 처음요소는 이 운동형상이 점, 선 또는 평면 중 어떤 종류인 가를 표시하고 두 번째와 세 번째는 각각 방향과 위치를 나타내는 벡터와 점 좌표이다. 운동형상의 표현 방법이 Table 1에 표시되어 있다.

이제 만남조건이 주어졌을 때 그에 따라 허용되는 부품의 회전운동과 평행이동이 각각 운동형상으로 표현될 수 있으며 그 것이 Table 2에 나타나 있다. Table 2에서 보는 바와 같이 본 연구에서는 세 가지 만남조건을 고려하였는데 Lee⁽¹³⁾에 의해 정의된 어게인스트와 피츠 조건 외에 볼(ball)과 소켓(socket)의 만남표현을 위한 스피리컬 피츠 조건(spherical fits condition)이 추가 되었다.

이 표를 살펴보면 어게인스트 조건이 주어졌을 때 허용되는 회전운동의 운동형상이 만남형상인 평면에 수직인 임의의 직선으로 주어져 있음을 알 수 있다. 이것은 실제 부품의 운동이 만나는 평면에 수직인 임의의 축을 중심으로 회전할 수 있기 때문이며, 그에 따라 해당 운동형상은 Table 2에 나타난 바와 같이 정해진 벡터와 임의의 점 좌표를 갖는 직선으로 표시되어 있다. 마찬가지로 어게인스트 조건이 있을 때 허용되는 평행운동은 만나는 평면에 평행한 임의의 평면으로 표현할 수 있는데 이

것은 부품 위의 임의의 점이 운동하면서 나타내는 궤적이 만남형상인 평면에 평행하고 그점을 통과하는 평면 위에 놓여지게 되기 때문이다. 이러한 평면들도 Table 2에 표시된 바와 같이 정해진 법선 벡터와 임의의 점 좌표를 가지는 평면으로 대체될 수 있다. 한편, 스피리컬 피츠 조건이 있을 때 가능한 평행이동은 점의 운동형상으로 나타나 있는데 이것은 해당 운동이 일어날 수 없음을 표시하고 있다. 이런 식으로 다른 운동형상들도 표시되어 있는데 이들 운동형상을 정의하는데 필요한 좌표값이나 벡터값은 모두 만남형상(mating feature)으로부터 얻어지게 된다.

하나의 부품에 여러개의 만남조건이 주어져 있을 때는 각 운동형상들의 공통부분을 구한 최종 운동형상이 실제가능한 운동을 표현해 주게 된다. 만일 최종 운동형상이 없거나 점으로 나오면 해당운동은 허용되지 않게 된다. 이 과정을 세 개의 만남조건을 가지는 Fig. 8의 부품에 대해 설명하면 다음과 같다. 이 부품은 두 개의 어게인스트 조건과 하나의 피츠 조건을 가지고 있는데 각 만남조건에 따른 운동형상과 최종 형상이 Table 3에 표시되어 있

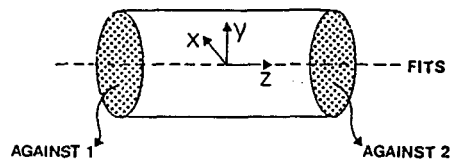


Fig. 8 A component with three mating conditions

Table 3 Mobility table for the example in Figure 8

Mating condition	Rotation		Translation	
	Type	Line	Type	Line
Fits	Vector	(0,0,1)	Vector	(0,0,1)
	Point	(0,0,0)	Point	Arbitrary
Against 1	Vector	(0,0,-1)	Vector	(0,0,-1)
	Point	Arbitrary	Point	Arbitrary
Against 2	Vector	(0,0,1)	Vector	(0,0,1)
	Point	Arbitrary	Point	Arbitrary
RESULT	Vector	(0,0,1)	Arbitrary points	
	Point	(0,0,0)		

다.

여기서 회전운동과 평행이동에 대해 각각 공통부분을 구하는 방법이 필요하게 된다. 여기서의 공통부분 찾기(intersection)는 보통의 경우와 조금 다른데 그것은 고려되는 운동형상이 단순한 점, 선 또는 평면뿐만이 아니라 '주어진 방향과 임의의 위치를 갖는 직선' 또는 '주어진 법선 벡터와 임의의 위치를 갖는 평면'등으로 나타나기 때문이다. 이러한 특성 때문에 본 연구에서는 공통부분을 찾기 위해 각 경우에 따라 경험적 방법(heuristic approach)을 사용하였다. 예를 들면 '주어진 벡터 A의 방향과 주어진 점 P를 지나는 직선'과 '주어진 벡터 B와 임의의 점을 지나는 직선'의 공통부분은 만일 A와 B가 평행하다면 '벡터 A와 점 P를 가지는 직선'이 되고 만일 평행하지 않다면 '임의의 점'이 된다. 다른 예로는 '주어진 벡터 A와 임의의 점을 갖는 직선'과 '주어진 법선 벡터 B와 임의의 점을 갖는 평면'의 공통부분을 생각할 수 있는데 그 결과는 만일 A와 B가 수직하다면 '벡터 A와 임의의 점을 갖는 직선'이 되고 수직하지 않다면 '임의의 점'이 된다. 위의 두 가지 예는 Table 3의 처음 두 운동형상 사이의 공통부분을 구할 때 적용될 수 있다. 한편 Table 3에는 각각 세 개씩의 운동형상이 있으므로 처음 두 개의 공통부분과 세 번째의 공통부분이 최종 운동형상이 되며 만일 중간 결과가 점이 되거나 없게 되면 그 이상의 과정이 필요치 않게 된다.

Fig. 8의 부품의 경우 최종 운동형상을 보면 평

행이동은 허용되지 않고, (0,0,0)점을 지나며 (0,0,1)방향인 직선을 축으로 한 회전 조인트가 존재한다는 것을 알 수 있다. 이 방법으로 세 가지 만남조건으로부터 회전 (revolute), 병진(prismatic), 원통(cylindrical), 평면(planar) 그리고 구면(spherical) 조인트들이 유도될 수 있으며, 운동형상과 공통부분을 찾는 경험 법칙(heuristics)을 추가 한다면 새로운 만남조건을 추가할 수 있다.

닫힌 루프(Closed Loop)내의 조인트

위의 방법의 한 가지 특징은 두 부품 사이의 조인트가 그 사이에 주어진 만남조건만으로 유도되어진다는 것이다. 이런 방법은 닫힌 루프 내에 있지 않은 가상 링크에 대해 적용되었을 때에는 정확한 결과를 구해주지만 루프 내의 경우에는 항상 그렇지 못하다. Fig. 9는 전형적인 슬라이더 크랭크 기구(slider crank mechanism)구성을 위한 만남조

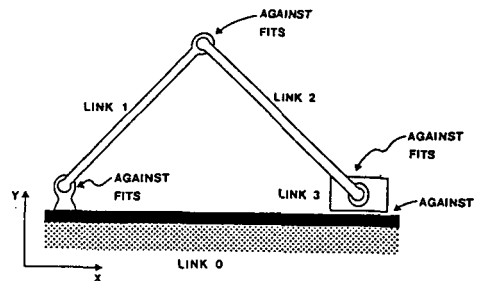


Fig. 9 Example of closed loop mechanism

건을 표시하고 있다. 이 경우 링크 0와 링크 3사이
에 실제로는 x 축 방향의 병진 조인트가 존재하지
만 앞의 방법을 통해서만 평면 조인트가 얻어지게
된다. 즉, 어게인스트 조건에 의해서만 구속되는
링크 3은 xz 평면 위에서의 평행이동과 y 방향의 임
의의 축을 중심으로 한 회전운동이 가능하지만 실
제로는 다른 조인트에 의한 구속으로 인해 x 축 방
향의 평행이동만이 허용되는 것이다. 따라서 가상
링크가 루프 내에 있을 때는 실제 조인트는 항상
만남조건으로부터 얻어진 조인트의 부분집합이 된
다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 바로 이 부
분집합을 구해내는 문제가 해결되지 못하였으며 현
재 시스템은 사용자에게 루프 내의 조인트를 알려
주고 유도된 것이 맞는지, 혹은 틀리면 그에 대한
수정을 입력하게 되어 있다.

5. 부품의 위치 계산

부품의 위치를 유도하기 위하여는 만남조건으로
부터 구속조건식을 구성하여 풀어야 하는데 이과정
은 Lee와 Andrews⁽¹⁴⁾의 연구를 기본으로 하여
Rocheleau⁽⁶⁾가 많이 개선한 바 있다. 본 연구에서
는 Rocheleau의 방법을 약간 수정하여 그대로 사
용하였는데 그 수정 사항은 다음과 같다.

첫째, 연립 방정식을 조립체 전체에 대해서가 아
니라 각 독립그룹(independent group)에 대하여
구성하였다. 따라서 각 부품의 위치는 자기가 속한
독립그룹(independent group)에 대하여 구성하였
다. 따라서 각 부품의 위치는 자기가 속한 독립그
룹의 그룹 기준 부품(local reference component)
에 대해 얻어지게 되며 이러한 분할은 보다 효율적
인 계산을 할 수 있게 해준다.

둘째, 스피리컬 피츠 조건에 대한 구속 조건식이
추가로 포함되었다. Fig.10에서와 같이 스피리컬

피츠로 연결된 두 부품은 다음과 같은 구속 조건식
을 갖는다.

$$P'_{1x} = P'_{2x} \tag{1}$$

$$P'_{1y} = P'_{2y} \tag{2}$$

$$P'_{1z} = P'_{2z} \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} P'_{1x} \\ P'_{1y} \\ P'_{1z} \\ 1 \end{bmatrix} = [T_1] \begin{bmatrix} P_{1x} \\ P_{1y} \\ P_{1z} \\ 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\begin{bmatrix} P'_{2x} \\ P'_{2y} \\ P'_{2z} \\ 1 \end{bmatrix} = [T_2] \begin{bmatrix} P_{2x} \\ P_{2y} \\ P_{2z} \\ 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

여기서 $[T_1]$ 과 $[T_2]$ 는 각 부품의 그룹 기준 부품
에 대한 변환행렬이며 풀어야 할 6개의 변수(평행
이동부분의 3개와 회전운동부분의 3개)는 식 (4)
및 (5)의 $[T_1]$ 와 $[T_2]$ 에 각각 포함되어 있다.

셋째, 추가 구속 조건식이 고려되었다. 조립체내
의 부품은 조인트를 따라 상대운동을 할 수 있기
때문에 주어진 만남조건을 모두 만족하는 부품의
위치는 유일하게 결정되지는 않는다. 이러한 이유
로 우리의 수치해석적 계산 방법이 수렴에 실패할
가능성을 가지고 있는데 Rocheleau의 연구에서 자
유회전 부품(free rotating part)의 고려가 이런 경
우의 해결을 위한 부분적 노력이었다. 본시스템에
서는 이의 해결을 위한 보다 일반적인 추가 조건식
의 부가가 고려되었는데 이는 다음과 같다.

우선 독립적인 가상 링크에 대해서는 (예를 들어
Fig. 6에서 base와 pole사이, 혹은 upper arm과
wrist사이) 그 조인트의 움직임을 제한하는 구속
조건식이 시스템에 의해 자동적으로 주어지게 하였
는데, 따라서 이 구속조건식은 해당 조인트의 자유
도를 없애는 구실을 한다. 한편, 닫힌 루프내의 가
상 링크의 경우에는 (예를 들어 pole과 lower arm
사이 등), 자동적인 임의의 구속조건식에 의해 정
해진 부품의 위치가 그 루프내의 다른 부품이 조립
체내로 결합하지 못하게 할 수도 있게 된다. 따라
서 이 경우에는 사용자가 루프내의 어떤 조인트를
선택하여 루프내의 자유도를 없애 버리도록 적당히
고정시키게 된다. 그러면 시스템은 조인트를 고정
시킴으로써 얻어진 부품간의 상대위치를 구속조건
식으로 첨가하여 부품의 위치를 계산하는데 사용하
게 된다. 이러한 과정은 화면 상에서 대화식으로

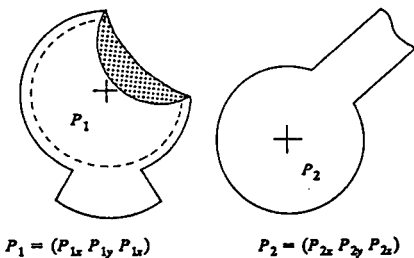


Fig. 10 Spherical fits mating condition

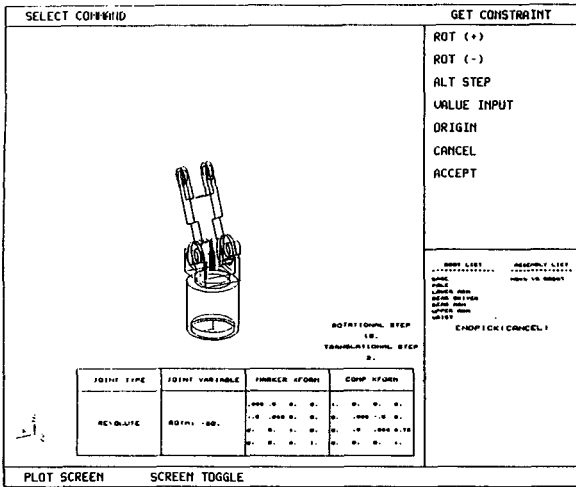


Fig. 11 Interactive assignment of a relative position between two components in a loop

수행될 수 있는데 우선 시스템은 루프를 찾아낸 후 그것을 포함하는 독립그룹과 그 안의 가상 링크들을 사용자에게 알려주게 된다. Fig. 6의 경우에는, 사용자는 두번째 사각형 안의 어느 한쌍을 선택하게 되며 시스템은 일단 그 두 부품사이의 만남조건을 만족시키는 임의의 위치를 계산하여 화면에 보여주고 조인트를 따라 움직일 수 있게 하여준다. 이제 사용자가 어느 한 위치를 정하여 선택하게 되는데 이러한 과정이 Fig. 11에 나타나 있다.

이러한 과정을 거쳐 계산된 부품의 위치는 자기 자기의 그룹 기준 부품에 대한 형태로 되어 있다. 결합을 위하여는 각 부품의 위치가 전체 기준 부품에 대한 형태로 주어져야 하며 이를 위한 변환은 쉽게 계산되어질 수 있다.

이제 모든 부품은 모든 만남조건을 만족하는 위치로 결합되었다. 하지만 독립적인 가상 링크에 대하여는 시스템이 임의의 상대위치로 자동 결합시켰기 때문에 아직 원하는 초기 형상이 아닐 수 있다. 따라서 마지막 과정은 원하는 초기 위치로의 수정이다. 사용자는 화면에 나타난 조립체를 보고 어느 조인트의 위치를 수정할 것인지를 쉽게 결정하고 수정할 수 있다.

6. 조인트 좌표계의 생성

대부분의 동역학적 해석 프로그램에서는 조인트의 종류와 더불어 조인트 좌표계를 필요로 하고 있

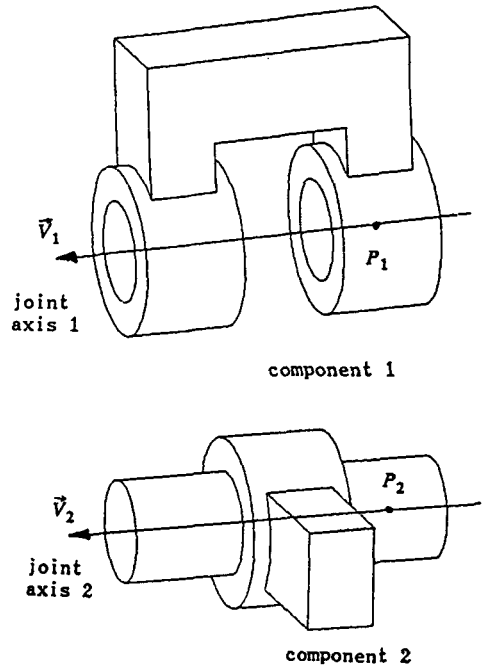


Fig. 12 Revolute joint

으므로 현재의 정보로부터 조인트 좌표계를 생성하는 기능이 필요하다. 조인트 좌표계를 생성하는 것 이란 그것이 부착되어 있는 부품의 물체 좌표계에 대한 조인트 좌표계의 변환행렬을 계산해 내는 것과 동일한 것이며 이때 조인트 좌표계는 초기 형상에서 모든 조인트 변수가 0이 되도록 하는 것이 바람직하다. 따라서 초기 조건에서는 하나의 조인트를 표현하는 두 개의 조인트 좌표계가 정확히 일치하게 된다. 하지만 이러한 조건을 만족시키는 조인트 좌표계는 하나로 정해지지 않고 무수히 많이 존재할 수 있다.

따라서 가능한 여러개의 조인트 좌표계의 선정 방법중 어느 하나를 택하여야 하며 Fig. 12에 나타난 것과 같은 회전 조인트를 갖는 부품 쌍의 경우에 대하여 본 연구에서 택한 조인트 좌표계의 부착 방법에 대하여 소개 하겠다. 이때 시스템은 이미 두 부품 사이의 상대 위치를 계산해 놓고 있으며 부품 1의 조인트 축의 위치를 표시하는 점 P_1 과 벡터 V_1 을 알고 있고 마찬가지로 부품 2에 대해 P_2 와 V_2 를 알고 있다. 그리고 우리가 구하고자 하는 것은 각 부품의 물체 좌표계에 대하여 각 조인트 좌표계의 위치를 표시하는 변환행렬 $[T_1]$ 과 $[T_2]$ 가 된다. 조인트 좌표계 (편의상 JCS로 표

시)를 구하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 우선 JCS 2의 원점의 위치를 정한다. 조인트 축위의 어느 점을 선택해도 되지만 여기서는 부품 2의 물체 좌표계의 원점과 가장 가까운 점을 선택한다.
- (2) JCS 2의 z축의 위치를 조인트 축과 같은 방향이 되도록 한다.
- (3) JCS 2의 x축의 방향을 정한다. 두번째 과정에서 얻어진 z축과 수직인 어느 방향도 선택가능하지만 여기서는 임의의 벡터와 V_2 벡터를 외적(cross product)하여 얻어진 방향을 선택한다. 임의의 벡터는 외적 결과가 0이 되지 않도록 (0,1,0)과 (0,0,1)중에 골라서 선택한다.
- (4) JCS 2의 y축의 방향을 JCS 2가 오른손 좌표계(right handed coordinate system)가 되도록 계산한 후 $[T_2]$ 를 계산한다.

- (5) JCS 1의 위치를 표시하는 $[T_1]$ 을 계산한다. 이때 초기 위치에서 JCS 1과 JCS 2가 일치하고 있기 때문에 $[T]$ 가 부품 1에 대한 부품 2의 변환행렬이라면

$$[T_1] = [T] [T_2] \quad (6)$$

의 식으로 계산할 수 있다.

다른 종류의 조인트에 대하여도 비슷한 방법으로 조인트 좌표를 계산해 낼 수 있으며 이렇게 계산된 변환행렬들은 Fig. 3에 표시된 자료구조에 저장시키게 된다.

7. 응용 예

응용 예로는 Fig. 4에 표시된 것과 같은 대우 NOVA 10 로봇을 선택하였다. 이 조립체는 7개의 부품으로 이상화될 수 있으며 이 부품들은 본 시스템에 포함된 형상 모델링 시스템(geometric modeling system)을 이용하여 모델링하였다. 그리고 이 조립체를 구성하기 위해 주어진 만남조건은 Fig. 5에 표시되어 있다.

여기서 모든 조인트는 회전 조인트로 유도되었고 루프내의 자유도를 없애기 위해 pole과 lower arm 사이, 또 pole과 rear driver 사이의 조인트가 Fig. 11의 과정과 같이 고정되었다. 그리고 부품들의 위치는 세 벌의 연립방정식을 구성하여 풀어냄으로써 얻어졌다.

Fig. 13은 조립체의 7개의 부품을, 또 Fig. 14는

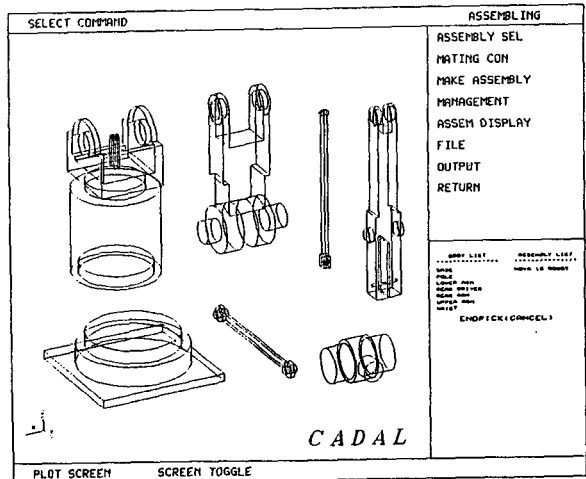


Fig. 13 Components of case study

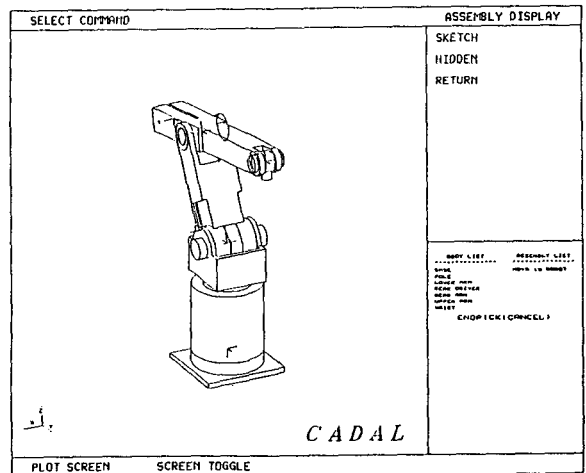


Fig. 14 Final assembly of case study

원하는 초기상태로 결합된 최종 조립체를 보여준다. Fig. 14에 보이는 좌표계는 그림의 초기 상태에서 생성된 조인트 좌표계이고, 따라서 하나의 조인트를 나타내기 위한 두 개의 조인트 좌표계가 하나로 합쳐져 보인다.

8. 결론

본 연구에서 개발된 조립체 모델링 시스템은 다음과 같은 잇점이 있다. 첫째, 만남조건만의 입력으로 조립체를 모델링할 수 있다. 둘째, 해석 프로그램에서 필요로 하는 대부분의 정보를 얻어낼 수

있다. 세째, 형상 모델링 기능을 가지게 됨으로써 각 부품을 생성시키거나 수정할 수 있게 되었고 따라서 조립체의 동역학적 특성에 따른 부품 및 조립체의 수정이 용이해졌다.

그리고 보다 강력한 시스템이 되기 위하여는 다음과 같은 기능의 추가를 생각할 수 있다. 첫째, 조인트가 루프내에 있을 때에도 사용자의 입력없이 정확한 조인트 정보를 얻을 수 있어야 하겠다. 둘째, 만남조건의 확장이 필요하다. 기계 부품에서 자주 생기는 만남조건으로는 '스크류 피츠(screw fits)', '기어 접촉(gear contact)', '랙 피니언 접촉(rack and pinion contact)' 그리고 '유니버설 접촉(universal contact)' 등을 생각할 수 있다. 세째, 현재 본 시스템이 동역학적 해석 프로그램과의 연결을 위한 조립체 모델 자체의 정보는 유도해 주지만 이외에 사용자가 운동 발생기(motion generator) 또는 힘 요소(input force element)의 입력을 할 수 있어야 하겠다. 네째, 본 시스템에 포함된 형상 모델링 시스템을 이용하여 조립체 내에서의 부품끼리의 간섭을 감지할 수 있는 기능을 추가할 수 있다. 마지막으로 조립체의 조립 순서를 찾아내는 기능이 있다면 유용할 것인데, 이에 대한 부분적 연구가 이미 Ko와 Lee⁽¹⁶⁾에 의해 행하여졌다.

참 고 문 헌

- (1) Stuctural Dynamics Research Corporation, 1986, "GEOMOD USER'S GUIDE".
- (2) Schlumberger Technology Corporation, 1987, "Applicon MECHANISMS Users Guide".
- (3) Shape Data Ltd., 1985, "ROMULUS Users Guide", Cambridge, UK.
- (4) Mechanical Dynamics Inc., 1981, "ADAMS USER GUIDE", Michigan, USA.
- (5) Haug, E. J., 1985, "Computer Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems", Center for Computer Aided Design, University of Iowa.
- (6) Rocheleau, D. N. and Lee, K., 1987, "System for Interactive Assembly Modelling", Computer Aided Design, Vol. 19, No. 2, pp. 65~72.
- (7) Mortenson, M. E., 1985, "Geometric Modeling", John Wiley.
- (8) Braid, I. C., 1976, "A New Shape Design System", CAD Group Document No. 89, University of Cambridge Computer Laboratory, Cambridge, UK.
- (9) Braid, I. C. and Hillyard, R. C., "Geometric Modeling in ALGOL 86", University of Cambridge Computer Laboratory, Cambridge, UK.
- (10) Lieberman, L. I. and Wesley, M. A., 1982, "AUTOPASS: An Automatic Programming System for Computer Controlled Mechanical Assemblies", IBM J. Res. Devel., pp. 321~333.
- (11) Eastman, C. M., 1981, "The Design of Assemblies", SAE Technical Paper Series, Society of Automotive Engineers, USA.
- (12) Tilove, R. B., 1983, "Extending Solid Modeling Systems for Mechanism Design and Kinematic Simulation", IEEE Computer Graphics Appl., Vol. 3, pp. 9~19.
- (13) Lee, K. and Gossard, D. C., 1985, "A Hierarchical Data Structure for Representing Assemblies: Part 1", Computer Aided Design, Vol. 17, No. 1, pp. 15~19.
- (14) Lee, K. and Andrews, G., 1985, "Inference of the Positions of Components in an Assembly: Part 2", Computer Aided Design, Vol. 17, No. 1, pp. 20~24.
- (15) Horowitz, E. and Sahni, S., 1983, "Fundamentals of Data Structure", Computer Science Press, USA.
- (16) Ko, H. and Lee, K., 1987 "Automatic Assembling Procedure Generation from Mating Conditions", Computer Aided Design, Vol. 19, No. 1, pp. 3~10.