

# 가상공간에서의 기계부품의 조립 가능성과 가시화에 의한 기구의 검증시스템

田中和明·和田敦·鄭降宇·安部憲廣·何守杰\*·瀧寛和\*\*

\*九州工業大學 · \*\*三菱電機

## 1. 서 론

부품의 기획에서 설계·생산으로 연결되는 사이클을 얼마나 단축하는가는 기업이 소비자의 다양한 요구에 신속히 대응해서 살아남기 위한 생존의 조건이 되고 있다. 이러한 설계 생산공정을 효율화하기 위해서 CAD/CAM과 같이 컴퓨터를 이용한 설계·생산 지원시스템을 도입하여 설계시간의 단축, 설계작업의 원가절감, 제품품질의 향상 등을 도모하는 기업이 많다. 그러나 설계한 기계부품이 실제로 조립 가능하고, 조립된 부품이 전체적으로 정확하게 작동하는가를 간단하게 검증할 수 있는 시스템은 존재하지 않는다. 물론 기구 검사 프로그램은 존재하지만, 부품 등의 제약을 특별한 형식으로 정확하게 입력하는 것이 곤란하고, 설계·생산·조립·기구 검사를 일관적으로 처리할 수 없게 되어 있다.

아직도 절삭가공한 부품 및 진흙모형을 만들고, 실제로 조립해서 기능 검사를 수행한 후 그 결과에 따라서 설계제원을 변경하는 것이 현실이다. 개발기간의 단축이나 개발비용의 절감을 도모하기 위해서는 기존에 수행하던 사제작이나 실험의 횟수를 되도록 줄일 필요가 있으며, 이러한 작업을 컴퓨터에서 처리할 수 있는 시스템이 요구되고 있다.

그리고 실제 세계에서의 현상을 시뮬레이션하여 얻은 결과를 이해하기 쉽게 표현하는 컴퓨터 그래픽스는 매우 유용한 사용자 인터페이스라고 말할 수 있다. 일반적으로 시뮬레이션은 수식과 수치에 의해서 수행되지만, 그 결과나 과정을 직관적으로 이해하는 것은 어렵다. 그 때문에 컴퓨터 그래픽스를 이용해서 결과를 표현하는 것이 빈번하게 이루어지게 되었다. 컴퓨터 그래픽스에 의해서 생성된 가상공간에서 설계한 기계부품을 조립하고 가동시키면 그 결과를 가시화할 수 있기 때문에 사용자에게 문제점을 직접 제시하는 것이 가능하다. 또한 가상공간에 배치할 부품

모델의 형상정보는 3차원 CAD의 보급에 의해서 쉽게 접근하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 가상공간에서 기계부품의 조립 가능성 및 기능 실험을 지원하는 시스템을 개발하였다. 구체적 인 적용기술로는 물체 모델의 충돌 검출, 모델의 결합, 결합관계에 토대를 둔 운동의 전달기구, 3차원 운동계 적 또는 운동영역과 물체 모델의 충돌 검사, 그리고 이러한 과정들을 가시화하는 표현기술 등이 있다.

이와 관련된 기존의 연구로서 적절하게 조립 배치된 기계부품의 정성적 거동이나 동적 거동을 해석하는 시스템이 보고되어 있다.<sup>1,2)</sup> 그러나 기계부품을 조립해서 조립의 문제점을 발견하거나 조립에 의해서 야기되는 결합관계나 충돌을 발견하고, 동작에 따라서 야기되는 부품들의 결합관계의 생성이나 소거 등을 고려해서 기계부품의 운동학적 기능해석을 수행한 연구는 존재하지 않는다. 언어지령으로부터 조립상태를 예측하는 시스템<sup>3)</sup>도 존재하지만, 언어 서식이나 구문 규칙에 많은 문제가 있다. Teaching by Showing에 의해서 인간의 조립과정을 컴퓨터 비전으로 관찰하여 조립학습을 시키는 연구도 있다.<sup>4,5)</sup> 그러나 물체형상과 손 동작을 시각만으로 인식시키는 것은 매우 곤란하고, 학습대상은 나무쌓기 등과 같이 간단한 물체의 Pick and Place 나 단순한 삽입동작으로 한정되어 있다. 본 연구는 기존 연구들과 비교할 때 이러한 Teaching by Showing을 가상공간에서 실행한다는 점에서는 같지만, 조립대상의 운동추론이 부품의 결합관계와 가상공간에서의 거동 시뮬레이션 결과를 필요로 한다는 점을 명확하게 했다는 것에 차이가 있다.

## 2. 시스템의 자료구조

본 시스템은 Inventor<sup>7)</sup>를 사용하고 있지만, 그 자료구조는 그래픽스를 담당하는 부분과 부품들의 결합

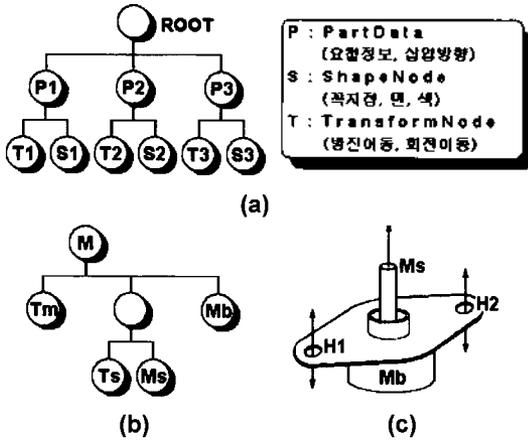


그림 1. 그래픽스 정보

관계를 기술하는 부분으로 이루어져 있다. 전자는 꼭지점, 면, 면의 법선, 색, 병진이동·회전이동·축척 등과 같은 모델 변위량, 기계부품을 꼭면 모델로서 가시화하기 위해서 필요한 정보, 모델이 기계요소로 될 수 있는 부분의 좌표, 또한 그 부분이 다른 부품과 결합되는 경우에 가능한 조립방향 등과 같이 기계부품으로써 모델을 표현하기 위하여 필요한 정보들이 그림 1과 같은 목구조(Tree Structure)의 정보로 등록되고 있다.<sup>7)</sup> 그림 1(a)에 나타난 목구조는 상위 객체(Object)가 하위 객체를 지배하고, 동일 계층의 객체에서는 좌측이 우측을 지배하는 규약을 가지고 있다. 따라서 그림 1(a)에서는 세 개의 부품 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>에 대해서 각각의 T에 병진이동, 회전이동, 축척을 부여함으로써 각 부품을 구성하는 면 S의 위치, 자세, 크기가 결정된다. 그림 1(b)의 목구조는 모터 M이 모터축 M<sub>s</sub>와 본체 M<sub>b</sub>로 구성됨을 나타내는데, T<sub>m</sub>에 값을 부여하면 모터 전체가 영향을 받지만, T<sub>s</sub>에 회전운동량을 부여하면 모터축만이 회전하는 것을 의미하게 된다. 만약 그림 1(a)의 T<sub>1</sub>과 T<sub>2</sub>에 동일한 병진운동량을 부여하는 조합을 사용하면 모터축과 본체를 동시에 이동시키는 것이 된다. 또한 T<sub>1</sub>에 부여한 값과 T<sub>2</sub>에 부여한 값의 관계식을 설정하면 한쪽에 부여된 값에 의해서 다른 한쪽에 부여할 값이 자동적으로 결정되기 때문에 다양한 운동의 전달이 가능하게 된다. 그림 1(a)의 요철정보는 그림 1(c)에 나타난 모터축 M<sub>s</sub>가 그림과 같이 볼록형상이고, 보조선인 화살표 방향으로 조립된다는 것을 의미한다. 또한 H<sub>1</sub>과 H<sub>2</sub>는 오목형상인 구멍이고, 보조선은 그

결합관계는 이하의 정보를 갖는 구조체의 리스트로 표현한다.

- 대상부품과 결합한 종속부품의 번호
- 대상부품과 종속부품의 결합관계
- 대상부품의 결합장소
- 종속부품의 결합장소

그림 2. 결합관계 정보

림과 같이 주어지고 있다. 이것은 그래픽스로 나타내는 경우에도 사용되지만, 조립 가능성을 판정할 때 부품들의 간섭 판정, 결합 종료시점마다 수행하는 결합관계의 유추 등에 사용된다. 후자는 부품들의 결합관계를 그림 2와 같은 양방향 리스트에 의해서 표현하는 것으로 조립시점에서 부품의 구속상태로부터 실현 가능한 이동형태의 유추, 동작 시에서의 고정, 구속, 전달의 유추 등에 사용된다.

### 3. 조립 가능성 시험

설계변경이 자유롭게 이루어지는 시스템에서는 변경 전에 조립 가능한 것이 변경 후에 조립 불가능으로 되는 일이 자주 일어날 수 있기 때문에 변경 후의 정보가 조립물로 무의미하지 않다는 점, 즉 조립 가능성의 조건을 만족하고 있는가를 확인할 필요가 있다.<sup>9)</sup> 앞에서 언급한 바와 같이 본 시스템에서는 조립 가능성을 가상공간에서 실제로 부품 모델을 조립하는 것으로서 판정한다.

부품들의 결합에 따라서 여러 가지 조합으로부터 발생하는 기능은 무수히 많다고 생각할 수 있다. 그러나 기계부품으로써 설계되었기 때문에 설계자가 의도하지 않은 부분을 결합대상으로 하는 것은 무의미하므로 부품의 결합위치를 선택할 때의 임의성을 시스템이 완벽해 놓을 필요는 없는 것으로 생각한다. 따라서 본 시스템의 부품정보에는 설계자가 의도하는 결합방법에 의해서 조립물로서 의미를 갖는 부분의 장소나 성질이 미리 등록되어 있고, 이 정보를 토대로 조립작업을 수행한다.

#### 3.1 조립의 순서

본 시스템에서는 가상공간에 배치한 기계부품을 마우스에 의해서 선택한다. 선택한 기계부품에 복수개의

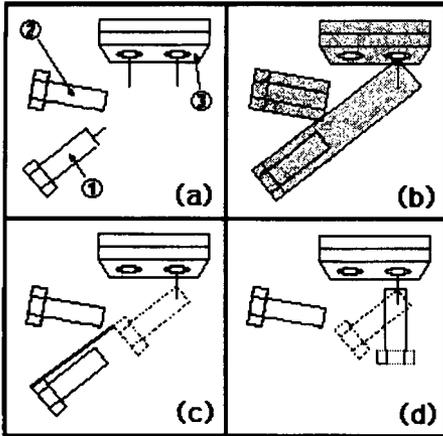


그림 3. 이동경로의 충돌 검사

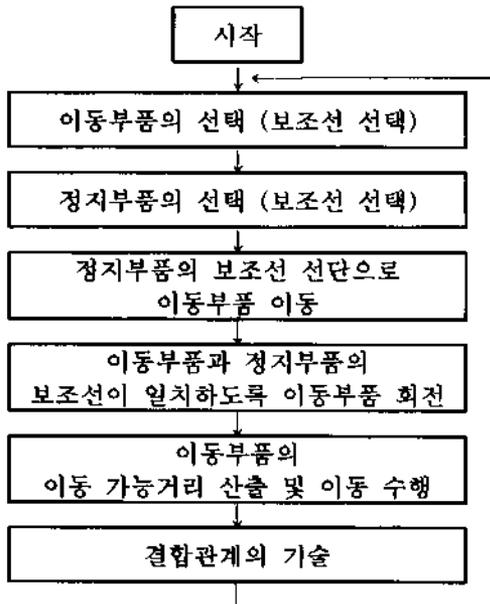


그림 4. 조립순서

조립요소가 존재하는 경우에는 각각의 장소로부터 복수개의 보조선이 표시된다. 그림 3(a)에서 부품 1을 부품 3의 우측 구멍에 삽입하는 것으로 가정한다. 이동부품으로써 부품 1을 선택하면 부품 1에 정의되어 있는 보조선이 모두 표시된다. 다음으로 상대부품인 정지부품 3을 선택하면 보조선은 두 개로 표시되기 때문에 마우스로 우측을 지정한다. 그림 4에는 조립 작업의 기본적인 흐름을 도시하였다. 조립할 부품이 결정되면 이동부품의 병진이동이 수행되는데, 상세한 설명은 3.3절에 나타내었다.

통상적으로 나사 등의 삽입은 병진회전운동이 필요하지만, 기계의 조립설명도에는 병진운동으로만 이동 경로를 표시하는 것이 일반적이다. 따라서 본 시스템에서도 이 방법을 채용하였다. 부품의 표면, 돌기부, 구멍 등에 보조선을 설정하는 것은 이러한 병진이동의 방향을 표현하기 위해서이다. 기어나 워엄의 맞물림과 같은 회전운동을 필요로 하는 경우는 특수 키 이를 입력하여 시스템에 회전중심을 설정하도록 정보를 전달해야 한다.

### 3.2 간섭 판정

#### 3.2.1 면과 선분의 교차

조립작업에서의 이동경로의 충돌 검출, 이동부품의 정지위치 산출, 기구 동작에서의 부품들의 간섭 판정 등과 관련해서 본 시스템에서는 면과 선분의 교차를 검출하는 방법을 기본적으로 사용하였다. 그림 5에서 삼각형의 면과 선분이 교차하는 조건은 다음과 같이 표시된다.

- 교점 Q가 존재하고, 반직선  $QP_4, QP_5 \leq 0$ .
- 반직선  $P_1Q$ 는 반직선  $P_1P_2, P_1P_3$ 를 이용해서 반직선  $P_1Q = \alpha \times (\text{반직선 } P_1P_2) + \beta \times (\text{반직선 } P_1P_3)$ 로 나타낼 수 있으며, 이 경우에는  $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1, \alpha + \beta \leq 1$ 을 만족해야 한다.

#### 3.2.2 객체들의 간섭 판정

가상공간에 배치한 기계부품은 모두 삼각형 패치로 구성되어 있다. 또한 본 시스템에서 사용하는 경계상자(Bounding Box)도 모두 삼각형 패치로 구성된 직방체이다. 이러한 객체들의 간섭 판정은 각각의 삼각면을 하나씩 지정하고, 그 삼각면이 교차하고 있는가를 조사함으로써 수행된다(그림 6 참조). 삼각면의

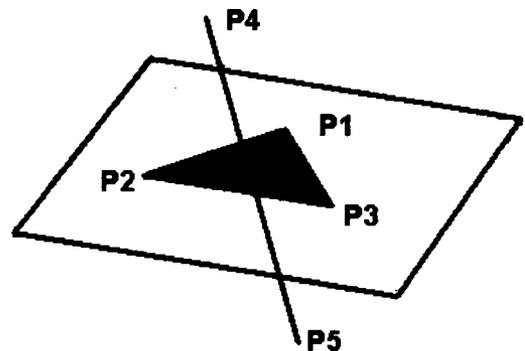


그림 5. 삼각면과 선분의 교차

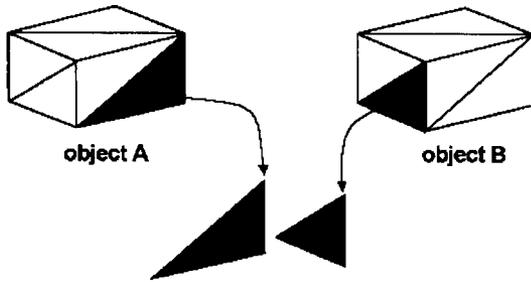


그림 6. 객체의 구조

교차는 한쪽의 삼각면을 세 개의 선분으로 분해하여 얻은 선분과 다른 삼각면과의 교차를 조사함으로써 판정한다.

### 3.3 이동경로의 충돌 검사

#### 3.3.1 이동부품의 취급 및 고려 방법

그림 3(a)의 부품 1과 같이 조립할 부품(이동부품)으로서 선택된 기계부품은 먼저 그림 3(b)의 부품 3과 같은 조립될 부품(정지부품)의 보조선 선단으로 이동한다. 이 경우 이동경로에 장애물이 없는가를 확인하기 위해서 이동부품과 다른 부품의 충돌 검사를 수행할 필요가 있다. 이동부품과의 충돌 검사에는 여러 방법이 고려될 수 있지만, 단순히 앞에서 서술한 면과 선분에 의한 간섭 판정을 사용하는 것은 이동부품을 미소거리로 이동시킬 때마다 간섭 판정을 해야 하기 때문에 매우 긴 시간을 필요로 하게 된다. 따라서 본 시스템에서는 부품의 이동경로가 직선적이라는 사실로부터 이동경로를 따라서 이동부품을 스위치시켜 얻은 물체를 이용하여 한번의 간섭 판정으로 이동경로의 충돌 검사를 수행한다. 현재 많은 시스템에는 충돌 검출기능이 있지만, 참고문헌<sup>2)</sup>에서 언급된 바와 같이 실제 충돌이 발생하는 경우에도 이동물체의 1회 이동량을 크게 설정하면 상대 물체를 통과하게 되고, 지나치게 작게 이동량을 설정하면 충돌까지 수많은 충돌 검출을 해야 하므로 충돌면이나 충돌점의 발견에 상당한 시간을 소요하게 된다. 따라서 본 시스템에서는 조립조작의 대부분이 직선을 따라서 이루어지기 때문에 앞에서 언급한 방법을 이용하고 있다.

#### 3.3.2 경계상자

부품들의 간섭 판정은 각각의 부품을 구성하는 면의 모든 조합에 대해서 교차 판별을 할 필요가 있다.

그 때문에 부품들이 충분히 떨어져 있는 경우에도 처음부터 이 방법을 적용하게 되면 많은 계산시간이 필요하게 된다. 따라서 정밀한 간섭 판정을 수행하기 전에 경계상자를 이용한 간섭 검사를 시도함으로써 판정의 효율화를 도모하고 있다.<sup>2)</sup>

그러나 일반적으로 사용하는 경계상자는 전역 좌표계의 X, Y, Z 축을 따라서 생성되기 때문에 부품이 회전하게 되는 경우에는 여분 공간을 포함하게 되어서 부품들이 충분히 떨어져 있는 상태에서도 경계상자의 간섭을 검출할 가능성이 있다. 따라서 본 시스템에서는 경계상자의 부피가 되도록 작게 되는 방법을 이용하였다.

기계부품 모델의 형상이 기하학적이기 때문에 통상적으로 외접 직방체의 부피가 최소로 되는 경우는 부품에 회전운동이 전혀 부가되지 않은 상태에 해당한다. 경계상자를 생성하기 위해서는 먼저 대상부품을 회전이 부가되지 않은 상태로 하고, 그 시점에서 대상부품을 형성하는 꼭지점의 최대값, 최소값을 산출한다. 이것을 토대로 경계상자를 생성한 후 대상부품에 대한 회전운동량을 부가한다.

그리고 경계상자에 의한 이동경로의 거시적인 충돌 검사는 그림 3(b)와 같이 이동경로를 따라서 스윕한 이동부품의 경계상자에 대해서 모든 부품의 경계상자와의 간섭을 판정함으로써 수행한다.

#### 3.3.3 상세한 충돌 검사

경계상자를 이용한 이동경로의 충돌 검사결과로부터 이동경로에 장애물이 있는 것으로 판정되면 그림 3(c)와 같이 면과 선분의 교차를 판정함으로써 정밀한 충돌 검사를 수행한다. 교차 판정은 이동부품의 이동 전후의 꼭지점 좌표를 연결해서 얻은 선분과, 그림 3의 부품 2와 같이 경계상자의 간섭 판정에 의해서 장애물로 판정된 부품의 면 사이에서 수행한다. 교차가 검출된 경우에는 이동경로에 장애물이 있음을 의미한다. 정지부품의 보조선 선단까지의 이동경로에 장애물이 존재하는 경우에는 장애물의 색을 붉게 변화시켜서 표시하고, 부품의 이동은 취소한다. 이동경로에 장애물이 없는 경우에는 이동부품을 그림 3(d)와 같이 정지부품의 보조선 선단까지 이동시키고, 두 부품의 보조선이 일치하도록 회전시킨다. 장애부품 검출 시에는 다른 위치로 이동시킬 부품으로써 장애부품, 이동부품, 정지부품의 하나를 메뉴로부터 선택

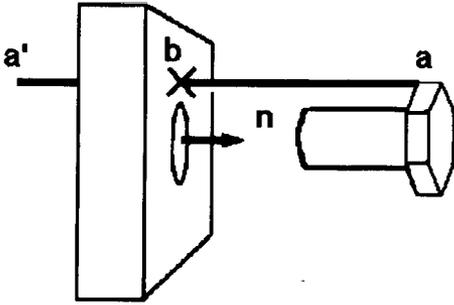


그림 7. 부품의 정지위치 결정

하고, 마우스를 이용하여 목적지로 이동시킨 후 처리를 계속시킨다.

### 3.4 부품의 정지위치 결정

이동부품이 정지부품의 보조선 선단까지 이동, 회전한 후에도 정지위치까지의 이동경로의 충돌 검사를 수행하고, 결합될 부품 이외의 장애물이 존재하는가를 조사한다. 그러나 이 경우는 장애물이 존재하지 않아도 그림 3(d)에서의 부품 1, 3과 같이 정지부품과의 충돌이 반드시 발생한다. 따라서 그 때까지의 이동 가능한 거리를 구해서 이동부품의 최종적인 위치를 결정한다. 이동 가능한 거리는 다음과 같이 구한다(그림 7 참조).

- 이동부품을 형성하는 꼭지점의 하나인 점  $a$ 를 지나는 방향 벡터  $n$ 에 평행한 선분  $aa'$ 을 구한다.
- 교점  $b$ 를 구해서 선분  $ab$ 의 길이를 계산한다.

이상과 같은 처리과정을 이동부품을 형성하는 모든 꼭지점에 대해서 수행하고, 가장 짧은 선분의 길이로 이동 가능한 거리로 간주한다.

### 3.5 결합관계의 기술

기계부품의 조립작업이나 조립한 기계의 가동 시뮬레이션을 실현하기 위해서 본 시스템에서는 조립작업이 1단계 수행될 때마다 부품들의 결합관계를 2장에서 서술한 양방향 리스트에 기술한다. 부품들의 결합관계에 주목해야 할 이유는 형상이 갖는 기능이 그 자체에서는 존재하지 않고, 특정형상이 특정형상과 특정관계로 결합될 때에 발생하는 것으로 생각하기 때문이다. 특정형상들이 결합할 때 발생하는 결합관계의 예는 표 1에 나타내었다. 일반적으로 두 물체가 서로 접촉하는 기구에서 하나가 상대방에 대해서 상대운동을 수행할 때의 조합을 대우(Pair)라고 한다.<sup>8)</sup> 표 1

표 1. 결합관계

형상 A	형상 B	결합관계
cylinder	hole	cylindrical-pair
screw	hole	
screw	tapped-hole	screw-pair
cylinder	groove	
worm	worm-wheel	slider-pair
		worm-gear

에는 결합할 때 대우를 이루는 것만을 제시하였다. Cylindrical Pair는 축중심 회전운동과 축방향 병진운동 모두가 가능한 것으로 끼워맞춤은 모두 헐거운 끼워맞춤으로 가정하고 있다. Screw Pair는 Cylindrical Pair의 경우와 마찬가지로 축방향 병진운동과 축중심 회전운동이 가능하지만, 회전각과 병진운동량 사이에 일정한 비례관계가 있기 때문에 운동은 병진운동량으로만 표시된다. Slide Pair는 홈의 형상에 의존하는 홈방향 운동이 가능하다.

#### 3.5.1 그래픽스에서의 결합관계

이전에 결합된 부품은 이후의 조립작업에서 이동부품으로 선택되는 경우가 있다. 이 경우에 선택된 부품과 결합하고 있는 나머지 부품들도 함께 이동시켜야 한다. 따라서 하나의 결합이 완료된 후 결합관계의 기술과는 별도로 그림 8에 표시한 것과 같이 그래픽스의 자료구조도 변경해야 한다. 결합관계의 정보로부터 함께 이동할 부품을 파악하는 것도 가능하지만, 이동할 때 회전운동이 부가되면 각 부품의 좌표계 원점을 구할 필요가 있기 때문에 보다 간편한 방법으로 이 문제를 해결하였다. 이미 결합된 부품을 이동시키기 위해서는 그림 8과 같이 이동부품의 T에 결합할 때 필요한 병진운동량(회전운동의 경우에는 회

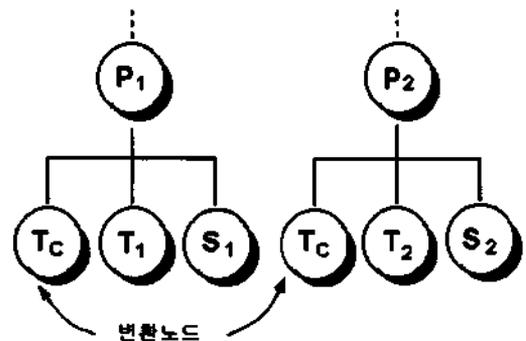


그림 8. 그래픽스에서의 결합 표현

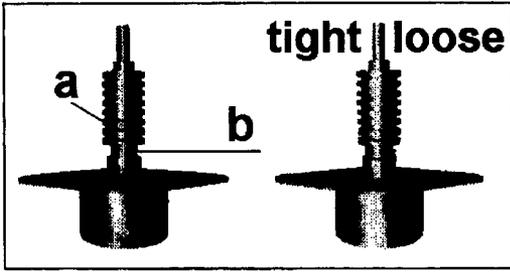


그림 9. 나사의 체결

전운동량을 부가한 후 목구조의 가장 좌측단에  $T_c$ 를 새로 추가한다. 병진운동량을  $T_c$ 에 부가하면 두 부품은 일체화 되어서 이동한다. 이전의  $T$ 는 조립이 실패한 경우에 원래의 위치로 돌아가기 위해서 사용된다.

### 3.5.2 나사의 체결

기계부품을 조립하는 경우에 나사는 강하게만 체결하는 것이 아니라, 중간공정으로써 헐겁게 조인 상태로 놓는 경우도 많이 존재한다. 본 시스템에서는 이러한 나사의 체결상태를 Tight, Loose의 두 종류로 표현한다. 그림 9에서 부품 a의 측면에 있는 나사 구멍과 b의 정지나사(Set Screw)가 결합하면 Screw Pair가 발생한다. 결합 후에는 Tight, Loose의 문자가 화면에 표시되며, 어느 하나를 마우스로 선택하면 결합관계의 정보로서 나사의 체결상태가 등록된다.

### 3.5.3 부작용적으로 결합된 부품의 파악

본 시스템에서 조립은 두 대상부품을 선택하는 것에 의해서 수행되지만, 그것이 부분 조립품의 일부인 경우 발생하는 결합관계는 하나로 한정되지 않는다. 이동부품이 결합 대상부품과 결합하면 결합 대상부품 이외의 부분에서 결합이 생기거나, 반대로 충돌이 생기는 경우가 있다. 이러한 것을 정확하게 파악해 놓지 않으면 조립 실패의 검출이나 부효과로서 발생하는 결합관계를 누락시키게 된다.

그림 10은 그림 9에 나타낸 기계부품의 단면도이다. 정지나사 4와 플라스틱 워엄 3의 측면의 나사 구멍은 조립 대상부품으로써 선택되어 결합된 상태에 있다. 이러한 접촉관계가 Screw Pair라는 것은 부품을 선택한 시점에서 알 수 있다. 그러나 정지나사가 그 외의 부품과 부작용적으로 결합한 것을 파악하기 위해서는 여러 처리과정을 경유할 필요가 있다. 먼저

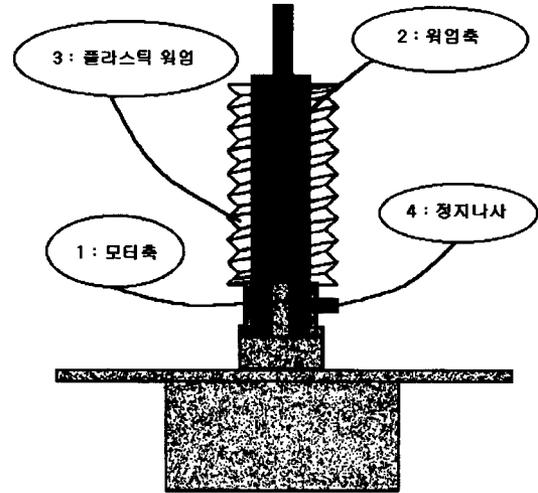


그림 10. 결합부품의 단면

정지나사는 모터축 1과 접촉함으로써 정지하게 되는데, 정지나사와 모터축이 접촉하고 있는가는 쉽게 알 수 있다. 그리고 나사를 체결할 때 그림 9에 표시한 Tight가 선택되었다면 강하게 접촉하게 된다는 것도 알 수 있다. 다음으로 워엄축 2의 측면의 나사 구멍과의 관계를 조사할 필요가 있지만, 모델의 나사는 생략해서 표현하고 있기 때문에 접촉은 일어나지 않는다. 따라서 먼저 이동부품인 정지나사를 삽입할 때 이용한 보조선을 축으로 해서 동심원 상으로 약간 팽창시킨다. 그 상태에서 정지나사를 삽입할 때 경계상자가 간섭한 부품만을 대상으로 면과 선분에 의한 간섭 판정을 수행한다. 간섭이 관찰되면 정지나사와 워엄축은 결합하고 있는 것이 된다. 이 이전의 조립 공정에서 플라스틱 워엄의 나사 구멍과 워엄축의 나사 구멍이 일치하고 있는가를 확인하고, 정지나사가 워엄축의 나사 구멍을 관통하고 있는가를 확인한다. 그리고 이상과 같이 부작용적으로 결합된 부품의 결합관계도 자료구조에 등록한다.

### 3.6 조립할 때 결합정보가 필요한 경우

그림 11은 그림 10의 모터가 하우징에 결합된 상태를 나타내고 있다. 모터의 양쪽 플랜지 구멍은 볼트와 너트로 하우징에 헐겁게 조여져 있다. 하우징의 좌측 구멍은 가늘고 긴 홈형상으로 가공되어 있기 때문에 모터는 축 a를 중심으로 약간 회전하는 것이 가능하다. 따라서 모터를 회전시켜서 워엄을 이동시킬

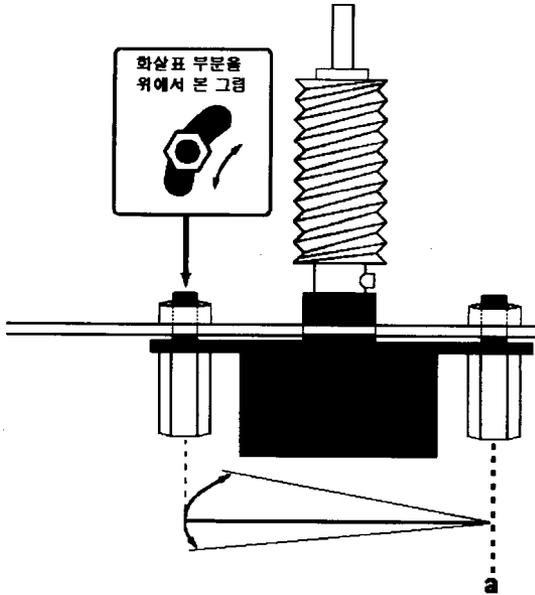


그림 11. 위엄과 위엄휠의 결합작업

수 있기 때문에 위엄과 위엄휠의 결합작업을 수행할 수 있다.

작업을 수행하기 위해서는 먼저 회전한다는 것을 시스템에 알려준다. 시스템은 모터가 축 a에 대해서만 회전할 수 있다는 모터의 구속상태를 파악해야 하는데, 부품의 결합관계 정보를 이용해서 이것을 도출한다. 모터의 우측 구멍과 볼트는 볼트가 헐겁게 조여진 상태이기 때문에 회전방향의 자유도를 갖는다. 좌측 구멍도 동일한 상태이지만, 만약 하우징의 양측 구멍이 모두 원형이라면 모터는 고정되어 있는 상태가 되기 때문에 자유도는 0이 된다. 그러나 이 경우 한쪽이 Slide Pair를 이루고 있기 때문에 축 a를 중심으로 회전할 수 있다는 것을 알 수 있다.

시스템은 모델의 회전중심을 축 a로 설정한 후 회전운동량에 대한 입력을 받게 된다. 모터를 마우스로 끌어당기면 축 a를 중심으로 한 위엄의 이동을 실행할 수 있다.

#### 4. 기구의 가시화

조립 가능성의 조건을 만족한다고 해도 조립물이 설계자의 의도대로 작동하는 것은 아니다. 본 시스템에서는 기계부품을 조립 시뮬레이션할 때 생성한 결합

관계 정보를 토대로 조립부품의 고정, 운동구속, 운동 전달을 유추하고, 조립된 기구의 거동을 가시화한다.

#### 4.1 결합관계의 탐색

먼저 앞으로 사용할 용어에 대해서 설명하면 다음과 같다. 절은 복수개의 부품이 조립되어 일체화된 기구를 이루는 부분을 의미하고, 구동절은 그 자체가 운동을 하면서 다른 절로 운동을 전달하는 부분, 그리고 종동절은 다른 절로부터 운동을 전달받는 부분을 의미한다. 조립된 기구가 어떠한 거동을 하는가를 알기 위해서는 먼저 구동절, 종동절이 되는 부품을 파악할 필요가 있다. 따라서 본 시스템에서도 기구의 동력부로부터 결합 관계를 추적함으로써 운동의 전달을 파악한다.

한 예로 그림 10의 모터가 가동하는 경우를 고려해 본다. 그림 1에서 설명한 바와 같이 모터는 이미 모터축과 별도로 모델화되어 있고, 모터의 가동명령을 받으면 모터축만 회전한다. 전체가 어떠한 동작을 하는가는 이 모터축의 운동이 어떻게 전달되는가를 결합관계로부터 유추함으로써 알 수 있다.

그림 12에서 모터축 1과 정지나사 4는 고정되어 있고, 정지나사는 위엄축 2와 플라스틱 위엄 3에 고정되어 있기 때문에 모든 부품이 모터축에 고정되어 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 모터를 가동할 때에는 모든 부품이 모터축과 동기회전한다.

#### 4.2 운동의 전달

그림 11에 나타난 조작에 의해서 위엄휠이 플라스틱 위엄에 결합된 상태에서의 운동 전달을 고려해 본다. 그림 13에서의 부품 5는 위엄휠이다. 위엄 3과 위엄휠 5의 결합관계는 기어 결합이다. 운동은 모터축 1로부터 우측으로 전달되어 간다. 그림 13의 결과에 의해서 그래픽스를 관리하는 정보를 그림 14와 같이 변경한다. 부품 4, 2, 3은 부품 1에 고정되

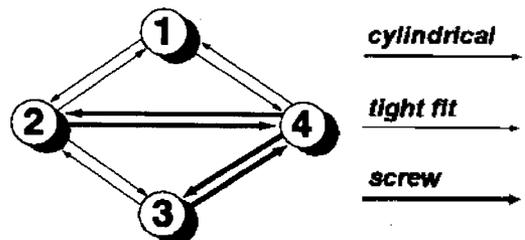


그림 12. 결합관계의 탐색

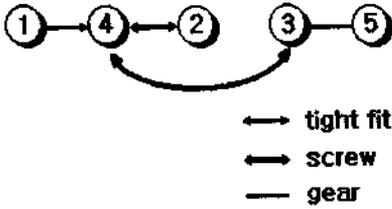


그림 13. 운동의 전달

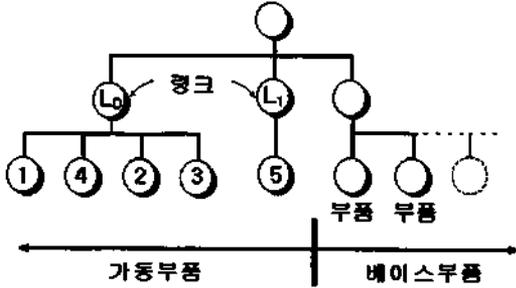


그림 14. 정보의 교환

기 때문에 부품집합 (1, 4, 2, 3)은 기구를 담당하는 하나의 질로서 한 곳으로 통합된다. 그리고 이 질의 운동을 기술하기 위해서 새로운 변환 노드를 추가한다. 그림 8과 같이 가장 좌측단에 그것을 추가하는 것도 가능하지만, 여기서는 질 (5)의 변환 노드와의 관계를 표현하기 위해서 각각의 상위 노드에 링크를 부여하고 있다. 링크에는 그것이 지배하는 질의 변환과 운동전달관계를 갖는 결과의 관계가 기술되어 있다. 이 경우에는 그림 14에서와 같이 두 링크에 질 (1, 4, 3, 2)와 (5)의 회전에 관한 관계가 등록되어 있고, 그것들은 일정시간마다 변환 노드의 값을 변화시켜서 다른 링크와 동기해서 물체를 이동시키는 기능을 갖는다.<sup>7)</sup> 위엄 3과 위엄될 5의 동작관계는  $L_p, L_1$ 에 기술되어 있고,  $L_p$ 를 가동시키면  $L_1$ 에도 운동이 전달된다. 결과적으로  $L_p$ 에는 부품집합 (1, 4, 2, 3)의 회전을 실현하는 변환 T와  $L_1$ 과의 관계가 기록되어 있다.

### 4.3 동작할 때의 간섭 판정

조립된 기계의 동작을 가시화함으로써 대부분의 기구 검증이 가능하게 된다. 그러나 상세하게 문제점을 파악하기 위해서는 가시화만으로 곤란하다. 이 문제는 기구가 동작할 때 기구를 구성하는 질들의 간섭 판정을 함으로써 보완할 수 있다.

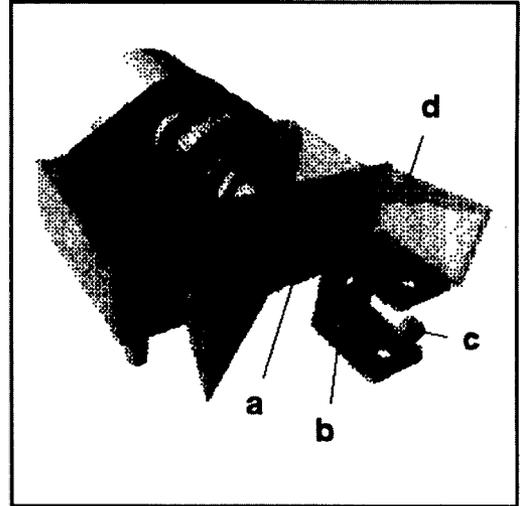


그림 15. 결합정보에 의해서 동작을 결정할 수 없는 부품

그림 15에서 부품 d와 a는 회전축을 공유하고 있지만, 통상적으로 두 개 모두 서로 독립적으로 회전한다. 그러나 부품 b가 부품 a와 c에 의해서 고정되면 부품 b와 d가 멀리도록 되어서 동시에 회전한다는 것은 결합관계로부터 파악할 수 없다. 그래서 동작할 때의 간섭 판정결과를 이용해서 운동의 전달을 유추한다.

부품 d가 회전하면 부품 d와 b 사이에 간섭이 관측된다. 이 경우에 부품 b가 어떻게 다른 부품에 구속되고 있는가를 조사하면 부품 d의 회전중심과 동일축 상에 회전방향의 자유도를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 부품 a, b, c는 고정되어 있기 때문에 하나의 질을 형성하고, 이러한 부품은 회전 가능한 질로서 그래픽스 정보에 재등록된다.

위에서 기술한 것과 같은 패턴을 나타내는 조립물은 많을 것으로 생각된다. 예를 들면 캠 장치와 같은 기구는 캠과 그 회전운동을 받아서 왕복운동을 하는 종동질이 조립 시점부터 접촉하고 있는 것은 대부분 아니다. 그러나 캠이 회전할 때 종동질에 접촉한 것을 감지하면 캠 장치인 것을 파악할 수 있다. 이와 같이 간섭 판정과 결합정보를 조합시키는 방법은 기구 전체를 파악하는데 있어서 매우 유효하다고 판단된다.

## 5. 시스템의 적용례

그림 16, 17, 18에 로봇 손의 일부를 본 시스템에 적용한 예를 나타내었다. 사용한 부품은 모두 강

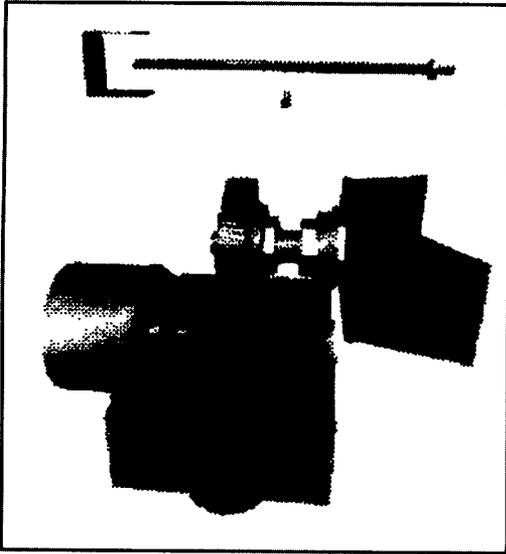


그림 16. 조립작업의 형태

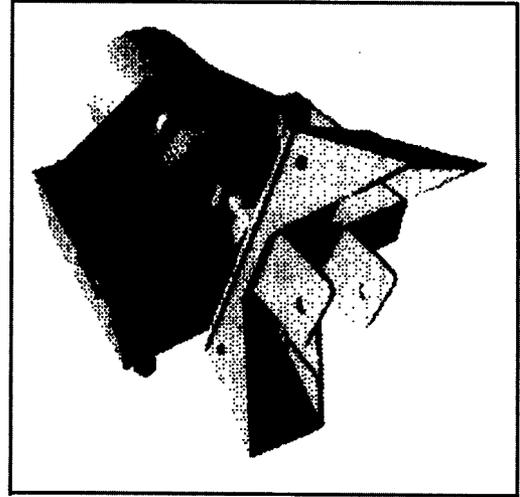


그림 18. 하우스 아래의 모터 가동

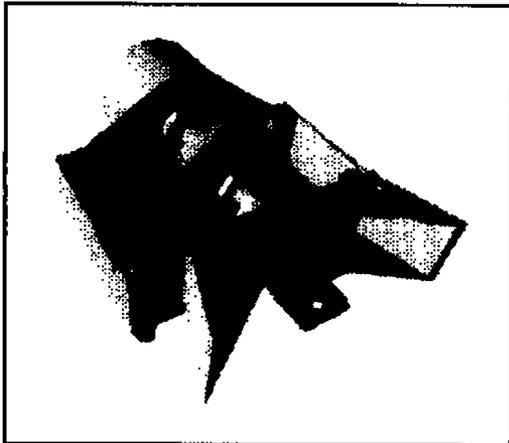


그림 17. 조립작업의 완료

체로 가정할 수 있는 것이다. 또한 끼워맞춤이 발생하는 경우는 모두가 헐거운 끼워맞춤이라고 생각하고, 끼워맞춤 부분의 마찰에 의한 고정은 고려하지 않았다. 그 밖에 적용한 부품 모델은 모두 다각형으로 근사화되어 있기 때문에 기어와 같이 복잡하게 맞물려 있는 기구가 동작할 때에 간섭 판정을 실시하면 정확하게 설계된 부품이라도 간섭을 검출할 가능성이 있다. 그 때문에 워엄과 워엄휠은 간섭 판정의 대상에서 제외하는 것으로 하였다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 형상의 특징정보를 부가한 기계부품 모델, 그리고 면과 선분에 의한 간섭 판정을 이용함으로써 강제로 가정할 수 있는 부품의 조립작업이 가상공간에서 가능하고, 조립 가능성을 판정할 수 있음을 보여주었다. 또한 조립단계에서 생성한 부품들의 결합관계를 이용해서 조립된 기구의 거동을 가시화할 수 있고, 동작할 때의 간섭을 판정함으로써 상세한 기구의 검증이 가능하다는 것을 제시하였다. 아울러서 간섭 판정결과와 결합관계로부터 조립 완료시점에서는 일의적으로 결정할 수 없었던 기구의 거동도 유추할 수 있다는 것을 보여주었다.

본 시스템은 현재 개발 도중에 있으며, 지속적으로 기능을 보완할 예정이다. 엄밀하게 조립 가능성을 판정하기 위해서는 다각형으로 근사화된 모델이 아니라 2차 곡면, 자유곡면을 포함하는 모델을 사용할 필요가 있는데, 곡면에 대한 간섭 판정방법은 이미 확립되어 있어서 본 시스템으로의 적용은 큰 문제가 없다고 생각한다. 또한 본 시스템의 당면 과제로 생각하는 것은 두 절의 관계만으로는 동작 결정이 불가능한 기구에 대한 처리방법이다. 기구는 몇 개의 절이 연쇄를 이루고, 복잡한 동작을 하는 것이 많이 존재하는데, 그림 14에 표시한 링크의 나열을 전체적으로 파악함으로써 연쇄의 운동을 유추할 수 없는가를 검토하고 있다. 이 외에 스프링, 고무 등과 같은

탄성체에 대한 처리방법도 향후 해결해야 할 과제의 하나이다.

### 참고문헌

1. L. Joskowies and E.P. Sacks: Computational Kinematics, Artif. Intell., Vol. 51, p.381-416, 1991.
2. A. Gelsey: Automated Reasoning about Machines, Artif. Intell., Vol. 74, p.1-53, 1995.
3. 安部 外 2名: 組立説明文からの組立手順の生成, 人工知能學會誌, Vol. 3, No. 5, p.590-598, 1988.
4. K. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Enoue: Learning by Showing, IEEE Trans. R & A, Vol. 10, No. 6, p.799-822, 1995.
5. 池内 外 1名: 視覚によるハンドの教示, ロボット學會誌, Vol. 13, No. 5, p.599-602, 1995.
6. 安部 外 2名: 假想現實空間と自然言語を用いる機器修復支援システム, 文部省重點研究・人空現實感システム報告書, 1995.
7. J. Wernicke: The Inventor Mentor, Silicon Graphics, 1994.
8. 鳥谷 外 1名: 3次元CADの基礎と應用, 共立出版, 1991.
9. 安田仁彦: 機構學, コロナ社, 1990.
10. 北嶋 外 2名: 機械の有効接續グラフに基づく對話型組立可能性判定システムの開發, 精密機械, Vol. 49, No. 2, p.208, 1983.
11. 關口 外 3名: 回轉機能部品の部品展開手法に関する研究, 精密機械, Vol. 51, No. 2, p.359, 1985.
12. 和田 外 3名: 假想空間における機械部品の組立可能性と機構の可視化・檢證システム, 信號學會マリチメチア・假想環境基礎研究會資料, MVE-95-57, 1995.

---

《NIKKEI Computer Graphics, February, 1999》

---

본 기사는 전국대학교의 이성수 편집위원이 “日經CG(NIKKEI COMPUTER GRAPHICS)”에서 발췌하였으며 출판사인 日經BP 사의 연락처는 다음과 같다.

- 주소 : 우편번호 102-8636 東京都千代田區平河町 2-7-6
- 전화 : 001-81-3-3869-8000