

김재성, 김광수

포항시 남구 효자동 포항공대 산업공학과

Abstract

A common task in assembly modeling is the determination of the position and orientation of a set of components by solving the spatial relationships between them. Assembly models could be constructed at various levels of abstraction. They could be classified into component or geometry-level assembly models. The geometry-level assembly design approach using mating constraints such as *against* and *fits* is widely used in the commercial modelers, but it may be very tedious in some cases for designer. In this paper, we propose a new method to construct an assembly model at the component-level by extracting joint mating features from the kinematics constraints specified between components. The assembly model constructed using the proposed method includes hierarchical and relational assembly models, component/sub-assembly positions and degrees of freedom information. The proposed method is more intuitive and natural way of assembly design and it guarantees the topological robustness of assembly modification such as component replacement and modification.

Keywords: assembly modeling, kinematics constraints, assembly information.

1. 서론

일반적으로 제품은 여러 부품들로 구성된다. 점을 감안할때, 조립 모델링(assembly modeling)은 제품설계에 있어서 매우 중요한 부분을 차지 하고 있다고 할 수 있다. 조립 모델링에서의 주요 이슈는 설계자가 부여한 구속조건들을 만족하는 각 부품들의 3차원상의 위치와 방향을 결정하는 구속조건들의 해결(constraints solving)에 있다. 일반적으로 조립 모델링은 구속조건을 부여하는 과정과 구속조건을 해결하기 위한 과정으로 나누어 질 수 있다. 설계자는 조립의 기준이 되는 주부품(base component)을 선택한 후 나머지 부품들의 결합 특징형상(mating feature)들을 이용하여 조립을 위한

구속조건을 부여하게 되며, 구속조건 해결자(constraint solver)는 부여된 구속조건들을 단계적(incrementally) 혹은 동시적(simultaneously)으로 해결함으로써 최종적인 조립모델(assembly model)을 얻게 된다.

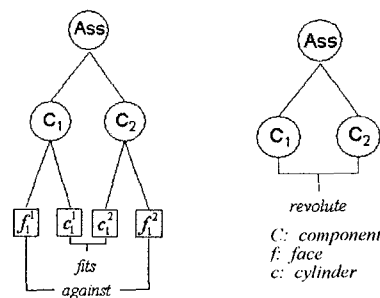
본 논문에서는 기구학적 구속조건을 이용한 부품 레벨에서의 자동 조립 모델링 방법론을 제안한다. 제안된 방법론은 1)관절 구속조건으로부터 부품의 관절 결합 특징형상(joint mating feature)들을 추출하는 과정과 추출된 관절 특징형상의 기하정보를 바탕으로 부품간에 부여된 2)관절 구속조건을 해결함으로써 조립대안(assembly alternatives)들을 생성하는 과정으로 구성된다.

2. 관련연구

2.1. 조립모델

조립모델링을 통해 얻어진 조립모델은 모델링 과정에서 구속조건이 부여되는 결합요소의 종류에 따라 Fig.1과 같이 부품-레벨(component-level) 조립모델과 기하-레벨(geometry-level) 조립모델로 구분되어 진다[1].

Fig.1(a)의 부품레벨 조립모델에서는 조립 모델을 구성하는 두 부품의 면이나 실린더와 같은 두 기하요소(geometric entity)에 대해 'against', 'fits'와 같은 조립 결합조건(mating condition)을 부여한 후 이를 만족하는 각 부품의 4x4 변환행렬(transformation matrix)을 구함으로써 조립모델을 생성하게 된다.



(a) geometry-level (b) component-level

Fig.1. Two types of assembly models

한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일~4일

부품레벨의 조립모델링에 관한 많은 연구[2-6]가 진행되어 왔으며 DCM, SolidWorks™ 등과 같은 상용 조립 모델링 시스템에서 활용되고 있다. 하지만 이 방법론은 구속조건이 부품의 기하요소에 종속적이므로 부품 기하/위상 정보의 변경에 따른 조립 모델의 자동 갱신(update)이 어렵다. 또한 조립 모델링시 서로 다른 부품들의 하위레벨의 기하 요소들 간에 구속조건을 부여해야 함으로 설계자 입장에 있어 그 과정이 번거롭고 불편한 경우가 많다.

반면에 본 논문에서 제안하는 부품레벨 조립 모델(Fig.1(b))은 구속조건이 각 부품에 대해 부여됨으로 설계자는 부품의 기하요소를 일일이 선택하여 결합조건을 부여해야 하는 번거로움에서 벗어날 수 있다. 또한 설계자는 하위레벨의 조립 결합조건 대신 여러개의 결합조건 조합의 기능을 하는 관절 구속조건(joint constraint)을 부품간의 구속조건으로 부여하게 됨으로 부품의 운동학적 기능을 조립 모델링에 직접적으로 적용할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 조립 모델링 방법론은 기존의 기하 레벨이나 특정형상 레벨의 조립 모델링에 비해 쉽고 자연스러운 방법이라 할 수 있으며 부품의 기하/위상학적 변경에 따른 조립모델의 자동 갱신시 안정적이다.

2.2. 조립 구속조건 해결

구속 조건들로부터 4x4 변환행렬을 도출하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 이들 연구는 일반적으로 1)수치적 접근방법(numerical approach)과 2)자유도를 이용한 대수적 접근방법(algebraic approach)으로 나눌 수 있다. 수치적 접근방법[2-3]은 주어진 구속조건을 연립방정식의 형태로 모두 나타낸 후, 이 연립방정식의 해를 Newton-Raphson이나 이의 변형된 형태의 방법을 통해 구함으로써 각 부품의 방향과 위치를 결정하는 변환행렬을 도출하는 방법이다. 그러나 이 방법론은 많은 수의 방정식을 동시에 풀어야 하는 문제점과 아울러 수치 해석적인 해법으로부터 발생하는 초기값에 의해 해가 좌우된다는 점과 가능한 해의 도출을 항상 보장하지는 못한다는 문제점을 내포하고 있다.

반면에, [4-6]는 부품의 공간상 위치를 결정하는 과정을 부품의 자유도를 구속하는 과정으로 해석하여 이동 자유도 3개와 회전 자유도 3개를 구속하는 과정을 각각 분리하여 부품의 변환행렬을 도출하는 대수적 접근방법을 제시하였다. 단계적 구속조건 해결방법은 기존의 수치적 방법이나 조립 자유도를 줄어나감으로써 해를 구하는 방법에 비교하여 안정적이면서도 효과적으로 해를 구할 수 있다는 장점이 있다.

3. 자동 조립 모델링

기구학적 구속조건인 관절 구속조건(joint constraint)를 활용하여 조립 모델링을 자동화하기 위해서는 부품의 여러 기하요소들 중 조립이 이루어질 수 있는 결합 특징형상의 검색, 추출 및 선택 과정이 필요하다. 본 논문에서는 부품간의 조립이 이루어지기 위한 조건으로 다음의 조립조건(assembly condition)을 기반으로 한다.

Table1. Assembly conditions

| Assembly Condition | |
|---------------------|---------------------|
| Base mating feature | Mate mating feature |
| Concave | Convex |
| Convex | Concave |
| Concave | Concave |

제안된 방법론은 크게 다음의 두가지 과정으로 이루어진다. 첫 번째 과정은 관절 구속조건으로부터 관절 결합 특징형상을 추출하는 과정으로 이는 다시 관절 구속조건 자유도 표현, 분석 및 오목 모서리(concave edge)로부터의 오목, 볼록 관절 결합 특징형상의 추출과정으로 이루어진다. 두 번째 과정은 첫 번째 과정에서 추출된 관절 결합 특징형상 정보를 바탕으로 조립 구속조건을 해결함으로써 조립 대안들을 생성하는 과정이다.

3.1. 관절 구속조건으로부터 관절 결합 특징형상의 추출

본 논문에서 고려되는 관절 구속조건은 prismatic, revolute, cylindrical, planar, spherical, rigid joint의 6가지 lower pair joint이다. 이 6가지 관절 종류는 기구 메카니즘(mechanism) 설계에 가장 많이 사용되는 관절들이라 할 수 있다.

관절 구속조건은 조립 결합조건 조합으로 표현되는 상위레벨 구속조건이라 할 수 있다. 본 절에서는 설계자가 부여한 관절 구속조건으로부터 조립이 이루어질 수 있는 결합 특징형상들을 추출하기 위한 방법에 대하여 설명한다.

3.1.1 Degree Of Freedom Representation

조립 구속조건은 주 부품에 대한 결합 부품의 조립 후 회전 및 이동 자유도를 구속하게 된다. 즉, 결합 부품은 조립 후 구속조건을 만족하는 범위 내에서 회전 및 이동의 운동성(mobility)을 가지게 된다. Tuncer^{et al}[7]는 부품의 이러한 운동성을 simple motion이라 정의하였다.

Table 2. Degree of Freedom representation

| Freedom | Type | Description |
|---------|-----------------|---|
| TDOF | T _R | Translational rigid |
| | T _A | Translation along an axis |
| | T _P | Translation on a plane |
| | T _F | Translational free |
| RDOF | R _R | Rotational rigid |
| | R _V | Rotation about any axis in a given direction |
| | R _A | Rotation about given axis |
| | R _{VP} | Rotation about any axis through a given point |
| | R _F | Rotational free |

Simple motion은 결합부품의 방향을 따른 이동, 축에 대한 회전 및 방향과 축에 대한 이동과 회전의 조합으로 표현되며, 이때 이동과 회전은 서로 독립적이다. 본 논문에서는 부품의 이동(TDOF)과

한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일~4일
회전 자유도(RDOF)를 Table 2의 simple motion으로 표현한다.

3.1.2. 관절 구속조건외의 기하정보외의 변환

관절 구속조건으로부터 조립대안을 자동으로 생성하기 위해서는 관절 구속조건을 만족시킬 수 있는 관절 결합 특징형상들을 추출하기 위한 일관된 규칙이 필요하다. 본 논문에서는 관절 구속조건을 회전과 이동 운동으로 구분하여 Table 3과 같은 관절 변환 방식(joint transformation scheme)을 적용한다.

관절의 회전운동은 얼라인먼트(alignment) 기준에 의해 0, 1, 혹은 2-alignment 조건으로 나누어진다. 표에서 얼라인먼트 조건은 조립 후 관절이 가지는 회전운동을 만족시키기 위해 정해져야 하는 방향이 평행하지 않은 벡터의 개수를 나타낸다. 이러한 독립적인 방향벡터 정보는 부품의 모서리의 방향벡터, 면의 법선벡터 혹은 실린더의 중심축으로부터 얻어진다. 표에서 0-, 1-, 2-alignment 조건은 각각 0, 하나, 두개의 방향벡터 정보가 필요함을 나타낸다.)

Table 3. Joint transformation scheme

| Mapping | Condition | RDOF | TDOF |
|--|-------------|------------|-------|
| Alignment-based rotation transformation | 0-alignment | R_{VP} | |
| | 1-alignment | R_V, R_A | |
| | 2-alignment | R_R | |
| Motion geometry-based translation transformation | vector | | T_F |
| | plane | | T_P |
| | line(axis) | | T_A |
| | point | | T_R |

관절의 이동운동은 운동기하(motion geometry) 조건을 기준으로 하며 벡터, 평면, 라인(축), 점의 다섯가지 경우 중 하나를 가진다. Table 3의 다섯가지 운동기하 조건들은 조립 후 부품의 이동운동을 만족시키기 위해 필요한 기하정보로서 부품의 단일 기하정보나 두 기하의 교차(intersention) 정보로부터 얻어진다.

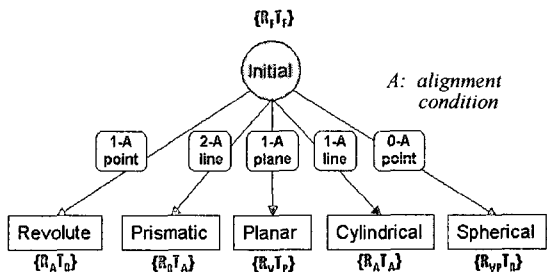


Fig.2. Joint transformation based on Table 3.

1 1-alignment 조건의 방향벡터는 조립후 부품의 회전축을 구성하게 되지만 2-alignment 조건의 두 방향벡터는 부품의 회전운동을 완전구속하기 위해 필요한 정보를 나타낸다.

Rigid관절을 제외한 논문에서 고려되는 각 관절 구속조건을 Table 3를 따라 변환하면 Fig.2와 같다. 예를들어, revolute 관절은 조립 후 특정 축에 대하여 회전하는 하나의 회전 자유도(R_A)만을 가지므로 이를 만족시키기 위해서는 하나의 방향벡터(rotation: 1-alignment, R_A)와 점 운동기하(translation, T_R)가 필요하다. 나머지 관절 구속조건들도 같은 방법으로 설명 가능하다.

Rigid 관절은 부품의 이동 및 회전 자유도가 완전구속됨을 뜻한다. 본 논문에서는 나머지 다섯가지 관절들이 조립 후 가지게되는 이동 및 회전 자유도에 대하여 논리적(logical) 구속조건 및 수치적(dimensional) 구속조건을 설계자가 추가함으로써 rigid 관절을 생성하도록 하였다. Fig.3는 각 관절로부터 논리적/수치적 구속조건을 추가함으로써 얻어지는 rigid 관절로의 전이 및 각 관절들 간의 전이 다이어그램을 나타낸다.

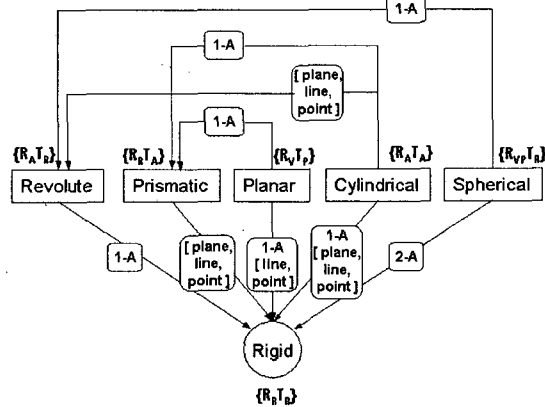


Fig.3. Joint transition diagram

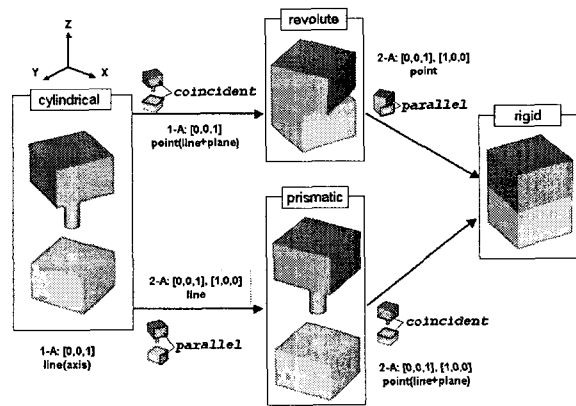


Fig.4. An example of cylindrical joint transition

Fig.3의 화살표 상의 라벨은 관절에 남아있는 회전이나 이동의 자유도를 구속하기위한 조건으로 Table 3를 따른다. 관절에 추가되는 새로운 방향벡터와 운동기하는 설계자가 추가한 구속조건들의 결합 요소로부터 얻어진다. 관절의 회전운동의 추가 구속의 경우의 방향벡터는 Fig.2에서 관절을 생성하는데 이용된 방향벡터와 평행하지 않은 벡터를 뜻하

한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일~4일
 며 그렇지 않은 경우에는 관절의 회전운동은 구속
 되지 않는다. 회전운동의 구속과 마찬가지로 관절
 의 이동운동을 추가로 구속하는 운동기하는 Fig.2의
 운동기하와 교차하는 운동기하를 뜻하며 교차하지
 않은 경우 점, 선, 면의 우선 선택 순위를 따른다.
 예를들어, 선과 면이 서로 교차하는 경우의 운동
 기하는 두 운동기하의 교차점이 되며 그렇지 않은
 경우에는 선이 운동기하가 된다. Fig.4는 Fig.3의
 cylindrical 관절의 revolute, prismatic, rigid 관절로의
 전이 예를 보이고 있다.

3.2. 관절 결합 특징형상의 추출

본 절에서는 3.1절에서 설명된 방법론을 바탕
 으로 관절 구속조건으로부터 조립을위한 관절 결합
 특징형상을 추출하는 방법에 대하여 설명한다.

3.2.1. 관절 결합정보 추출

관절 구속조건은 조립을 위한 결합정보를 내재
 하고 있다. 예를 들어, cylindrical 관절 구속조건은
 실린더와 실린더간의 조립을 뜻하며 결합 부품은
 조립 후 실린더의 축에 대한 회전 및 이동운동을
 가지게된다. 본 논문에서는 설계자가 부여한 관절
 구속조건의 결합정보에 따라 관절 결합 특징형상을
 선택적으로 추출한다.²⁾

Table 4는 관절 구속조건에 따라 추출되는 관절
 결합 특징형상 및 조립에 필요한 결합 기하정보를
 나타내고 있다. 얻어진 결합 기하정보는 Fig.2에서
 의 각 관절의 얼라인먼트와 운동기하조건으로의 변
 환 결과와 일치한다.

Table 4. Joint mating feature extraction

| Joint Type | Mating Features | Mating Geometric Information |
|-------------|--|--|
| prismatic | two planes | <ul style="list-style-type: none"> the normal vectors of two planes, where two planes are not parallel a point on the intersect line of planes_{1,2} |
| revolute | cylinder, planes intersect with cylinder | <ul style="list-style-type: none"> cylinder axis center points of conic sections that intersect between cylinder and planes |
| cylindrical | cylinder | <ul style="list-style-type: none"> cylinder axis a point on the axis |
| planar | plane | <ul style="list-style-type: none"> the normal of plane a point on a plane |
| spherical | sphere | <ul style="list-style-type: none"> sphere center point |

Fig.5는 cylindrical 관절 구속조건과 이에대한 기하
 요소로의 변환 및 관절 결합 특징형상의 추출을 보
 이고 있다. Table 4의 관절 기하정보는 3.3절의 관
 절 구속조건의 해결에 활용된다.

²⁾ 관절 조립을 위해 부품으로부터 추출되는 기하 특징형
 상의 최하단위는 면, 실린더, 구(center point)이다.

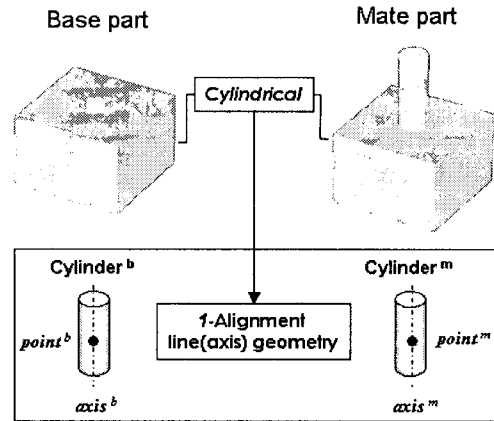


Fig.5. transformation of cylindrical constraint and joint mating feature extraction

3.2.2. 결합요소의 오목/볼록성 결정

Table 4에 따라 추출된 관절 결합요소의 오목
 성(concavity)과 볼록성(convexity)은 부품의 오목 모
 서리(concave edge) 정보를 바탕으로 결정된다. 오목
 모서리란 모서리를 공유하는 두 면의 사이 각이
 180도 보다 작은 모서리를 뜻한다. 이를 식으로 나
 타내면 다음과 같다[8].

$$(\vec{N}_{nr} \times \vec{N}_{nl}) \cdot \vec{N}_{eg} < 0$$

- \vec{N}_{nr} : the face normal vector that lies to the right of the edge
- \vec{N}_{nl} : the face normal vector that lies to the left of the edge
- \vec{N}_{eg} : the direction of the edge

부품에서 오목 모서리가 아닌 모서리들은 모두
 볼록 모서리(convex edge)가 된다. 추출된 오목 모
 서리와 볼록 모서리 정보 및 오목경계(concave
 border)와 볼록경계(convex border) 정보로부터 면이
 나 실린더, 구의 오목성 혹은 볼록성을 결정하게
 된다. 이에대한 자세한 내용은 참고문헌 [8]을 참고
 하기 바란다.

3.3. 관절 구속조건을 해결 및 조립 대안
 의 생성

본 절에서는 관절 구속조건을 변환 과정과
 Table 4로부터 얻어진 결합 기하정보를 바탕으로
 조립 대안을 생성하기 위한 관절 구속조건을 해결
 과 조립 대안의 생성에 관하여 설명한다.

3.3.1. 단계적 관절 구속조건을 해결

3.2절에서 언급된 바와 같이 설계자로부터 주
 어지는 관절 구속조건은 주부품에 대하여 결합부품
 의 공간상 상대적인 위치와 방향을 결정하는 3개

한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일~4일

의 이동자유도와 3개의 회전자유도의 정보를 제공하며 이는 조립 구속조건 해결과정을 통해 4x4 변환행렬로 나타내어진다. 일반적으로, 구속조건에 의해 결합부품의 자유도가 완전히 구속되는 경우를 완전구속(well-constrained, R_RT_R)이라 정의하며, 조립 후 결합부품의 회전이나 이동의 자유도가 하나 이상 남아 있는 경우를 미구속(under-constrained)라 정의한다. Fig.3과 Fig.4에서 보인바와 같이, rigid 관절을 제외한 본 논문에서 고려되는 나머지 구속조건들은 모두 미구속인 경우에 해당한다.

Table 4의 결합 기하정보는 부품의 변환행렬(T)을 구하기 위한 다음 식에 이용된다. 본 절에서 사용되는 수식의 윗첨자 b, m, ma는 각각 주부품, 결합부품, 조립 후의 결합부품을 뜻한다. 결합부품의 결합 기하정보들은 구속조건에 의해 결정된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$[N_1^{ma} \ N_2^{ma} \ N_3^{ma} \ P^{ma}] = T[N_1^m \ N_2^m \ N_3^m \ P^m]$$

식에서 기호 N은 Table 4로부터 얻어진 결합특징형상의 축이나 라인, 평면의 법선벡터를 나타내며, 기호 P는 결합요소의 축, 라인, 평면상의 점이나 conic section, 구의 원점을 뜻한다. 위 식으로부터 변환행렬 T는 다음 식을 만족한다.

$$T = [N_1^{ma} \ N_2^{ma} \ N_3^{ma} \ P^{ma}][N_1^m \ N_2^m \ N_3^m \ P^m]^{-1}$$

위 식에서 결합부품의 조립 후 가지게되는 기하정보들(N^{ma}, P^{ma})은 주부품의 기하정보들(N^b, P^b)로부터 유도된다. 예를 들어, cylindrical 관절 구속조건인 경우 Fig.5에서 얻어진 결합 기하정보를 바탕으로 구속조건을 해결 할 수 있다.

Cylindrical 관절 구속조건으로 부터 얻어진 결합 기하정보는 주부품의 오목 실린더와 결합부품의 볼록 실린더의 축의 방향(N^b, N^m)과 축상의 임의의 점(P^b, P^m) 정보이다. Fig.6에 보이는바와 같이 결합부품의 조립 후 P^{ma}는 P^b와 일치하며 N^{ma}는 N^b(align)나 -N^b(anti-align)와 일치하게 된다.

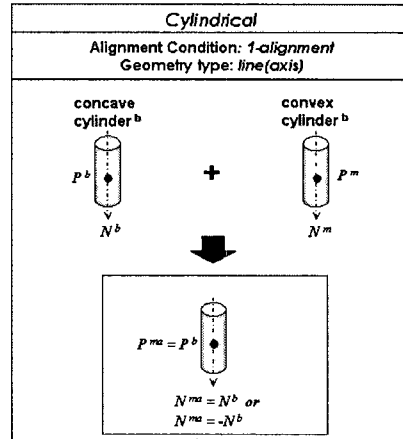


Fig.6. Relations among b, m, ma of the mating geometric information of cylindrical constraint

Table 5는 rigid를 제외한 각 관절 구속조건과 변환행렬을 구하기 위해 필요한 결합부품의 조립 후 기하정보를 나타낸다. 결합부품의 조립 후 기하정보들은 관절 좌표계(joint coordinate system)의 X, Y, Z축을 구성한다. 조립 후 관절이 가지는 이동 및 회전의 축은 Z축이다.

Table 5. Joint coordinates of the incremental constraint solving system

| Joint Type | Mapped Geometric Information (base, mate) | align type | Joint Coordinate System | | | |
|-------------|---|------------|--|---|---|---|
| | | | N ₁ ^{ma} (X) | N ₂ ^{ma} (Y) | N ₃ ^{ma} (Z) | P ^{ma} (Origin) |
| prismatic | N _{pb1} , N _{pb2} , P _{int(pb1, pb2)} | align | -N _{pb1} ^b | -N _{pb2} ^b | -N _{pb1} ^b × -N _{pb2} ^b | P _{int(pb1, pb2)} ^b |
| | | anti-align | -N _{pb2} ^b | -N _{pb1} ^b | -N _{pb2} ^b × -N _{pb1} ^b | P _{int(pb1, pb2)} ^b |
| revolute | N _{axis} , CP _{int(obl, ph)} | align | N _{LN_{axis}} ^b | N _{axis} ^b × N _{LN_{axis}} ^b | N _{axis} ^b | CP _{int(obl, ph)} ^b |
| | | anti-align | N _{LN_{axis}} ^b | -N _{axis} ^b × N _{LN_{axis}} ^b | -N _{axis} ^b | CP _{int(obl, ph)} ^b |
| cylindrical | N _{axis} , P _{axis} | align | N _{LN_{axis}} ^b | N _{axis} ^b × N _{LN_{axis}} ^b | N _{axis} ^b | P _{axis} ^b |
| | | anti-align | N _{LN_{axis}} ^b | -N _{axis} ^b × N _{LN_{axis}} ^b | -N _{axis} ^b | P _{axis} ^b |
| planar | N _{ph} , P _{ph} | align | N _{LN_{ph}} ^b | N _{ph} ^b × N _{LN_{ph}} ^b | N _{ph} ^b | P _{ph} ^b |
| | | anti-align | N _{LN_{ph}} ^b | -N _{ph} ^b × N _{LN_{ph}} ^b | -N _{ph} ^b | P _{ph} ^b |
| spherical | CP _{sph} | - | N _{Zc} × N _{LN_{Zc}} | N _{LN_{Zc}} | N _{Zc} | CP _{sph} ^b |

*N_{geo}: the normal or the directional vector of geometry, int(geo1, geo2): the intersection of geometry1,2. P: a point, CP: center point, phn: plane, cyl: cylinder, sph: sphere, N_{LN}: a vector which is perpendicular to N_{geo}, Z_G: the Z axis of global coordinate system.

3.3.2. 조립 대안의 생성

일반적으로 부품은 여러개의 오목 및 볼록 특징형상을 가진다. 따라서 관절 구속조건으로부터 여러개의 관절 결합요소들이 추출되며 이들은 모두 관절 구속조건을 만족하는 조립대안들이 된다. Fig.7은 주부품과 결합부품이 각각 두개의 오목 실린더와 볼록 실린더를 가질때 cylindrical 구속조건이 부여된 경우의 조립대안들의 생성 예를 보이고 있다.

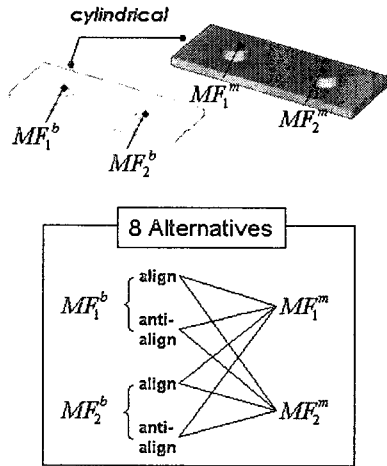


Fig.7. alternatives of 2 cylindrical mating features

설계자는 관절 구속조건과 더불어 반경, 높이, 길이, 바운딩 박스 와 같은 필터링 기준(see fig.8(e))을 조립대안 생성규칙으로 추가 할 수 있다. 예를들어, Fig.7에서 MF_1^b 과 MF_2^m 실린더의 반경이 서로 다른 경우, 조립대안 생성시 반경 규칙을 적용하면 같은 반경을 가지는 관절 결합 특징형상(cylinder feature)들 간의 조립대안만을 생성하게 된다.

4. 구현 결과

4.1. 자동 조립 모델링 시스템

Fig.8은 3장에서 설명된 방법론을 바탕으로 구현된 자동 조립모델링 시스템을 보이고 있다. 조립체를 구성하는 각 부품은 제품 모델링언어(PML:Product Modeling Language)[9]를 이용하여 파라메트릭하게 설계된다. 본 시스템은 조립체 및 서브 어셈블리, 부품을 가시화하는 부분(Fig.8(a))과 조립체의 계층적 구조를 보이는 조립 계층 모델(assembly hierarchy model, Fig.8(b)), 부품간에 관절 구속조건을 보이는 조립 관계모델(assembly relation model, Fig.8(c)), 그리고 설계자가 부여한 관절 구속조건을 만족하는 조립대안들을 제시하는 대안그래프(Fig.8(d)) 및 조립대안 생성 규칙을 설정하는 필터링 다이얼로그(Fig.8(e))와 논리적/수치적 구속조건 추가 다이얼로그(Fig.8(f))로 구성된다. Fig.8(b)의 조립 계층모델은 부품을 추가/삭제/변경하고 추가된 부품의 설계정보와 파라미터를 변경하

여 부품을 재설계(redesign)하는 기능을 제공한다. 조립체의 각 부품간의 관절 구속조건은 Fig.8(c)의 조립 관계모델을 통해 설계자로부터 부여되며, 부여된 구속조건과 필터링 규칙을 만족하는 조립대안들은 Fig.8(d)의 대안그래프로 표시되며 설계자는 각 대안(leaf node)들을 마우스를 이용하여 탐색할 수 있다. 대안들의 탐색시 관절이 가지는 자유도에 대하여 논리적/수치적 구속조건을 추가함으로써 원하는 관절종류로 관절을 변환하거나(see Fig.3) 부품의 위치와 방향을 원하는 위치와 방향으로 재위치(reposition)시킬 수 있다.

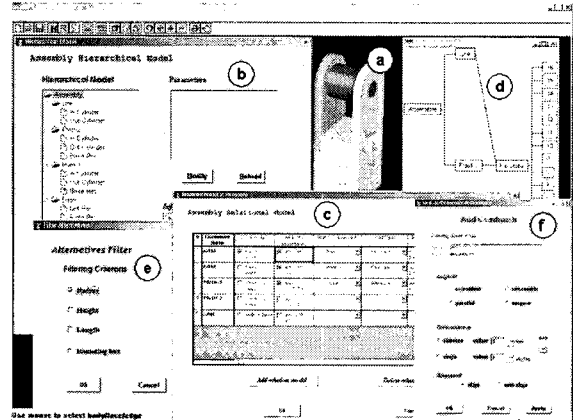


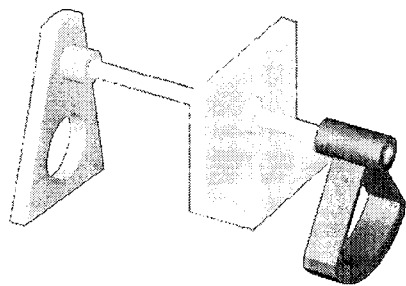
Fig.8. the automated assembly modeling system. (a) display window, (b) assembly hierarchy model, (c) assembly relation model, (d) alternative graph, (e) filtering dialog, (f) constraints dialog

4.2. 구현 사례

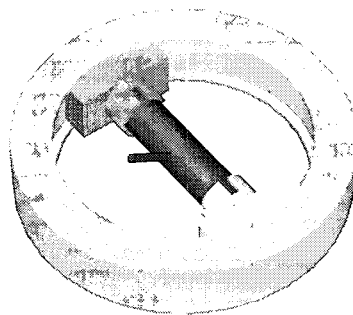
Fig.9는 자동 조립 모델링 시스템을 이용하여 구현된 조립모델들의 예를 보이고 있다. Table 6은 axle assembly(Fig.9(d))의 조립 모델링시 부여된 관절 구속조건들과 반경 대안생성 규칙을 만족하는 조립대안의 수를 나타내고 있다.

Table 6. Joint and alternatives of Fig.9(d)

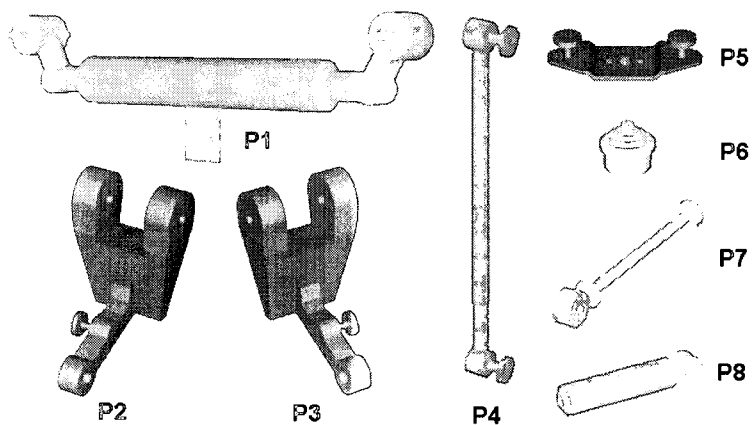
| Base | Mate | Joint | Alternatives |
|--------|------|-------------|--------------|
| P1 | P5 | revolute | 32 |
| P5 | P7 | revolute | 16 |
| P7 | P8 | cylindrical | 4 |
| P1, P8 | P2 | revolute | 8 |
| P1, P8 | P3 | revolute | 8 |
| P5 | P6 | revolute | 8 |
| P2, P3 | P4 | revolute | 16 |



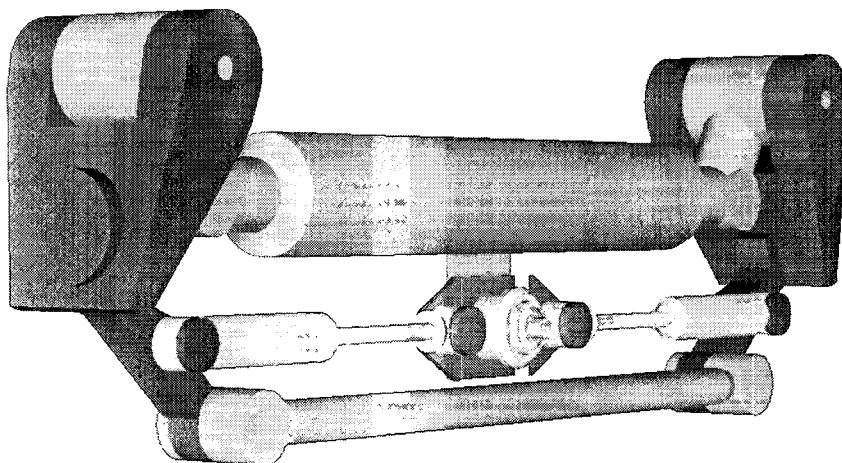
(a) assembly model1



(b) assembly model2



(c) components of axle assembly model



(d) axle assembly model

Fig.9. Assembly model constructed by automated assembly modeling system

5. 결론

본 논문에서는 부품레벨에서의 관절 구속조건을 이용한 자동 조립모델링 방법론을 제안하였다. 제안된 방법론은 각 부품에 대해 구속조건이 부여됨으로 설계자는 부품의 기하요소를 일일이 선택하여 결합조건을 부여해야하는 번거로움에서 벗어날 수 있다. 또한 하위레벨의 조립 결합조건 대신 여러개의 결합조건을 조합의 기능을 하는 관절 구속조건을 부품간의 구속조건으로 부여하게 됨으로 부품의 운동학적 기능을 조립 모델링에 직접적으로 적용할 수 있다는 장점이 있다. 설계자는 제안된 자동 조립 모델링 시스템을 통해 쉽고 자연스러운 방법으로 조립모델링을 수행 할 수 있다. 자동 조립모델링 시스템을 통해 생성되는 조립모델의 구조적/관계적 조립정보 및 기구학적 정보는 조립 애니메이션, 공차분석, 조립/분해(disassembly) 순서의 결정과 같은 조립 후 분석 시스템에서 활용될 수 있다. 또한 제안된 방법론은 지능형 설계 시스템, product configuration system 등의 한 모듈로서 활용될 수 있다.

참고문헌

- [1] J.J.Shah, M.Mantyla, "Parametric and feature-based CAD/CAM", John Wiley, 1995.
- [2] D.N.Rocheleau, K.Lee, "System for interactive assembly modeling", *Comput.-Aided Des.*, 19(2), pp.65-72, 1987.
- [3] K.Lee, G.Andrew, "Inference of the positions of components in an assembly: Part 2", *Comput.-Aided Des.*, 17(1), pp.20-24, 1985.
- [4] G.A.Kramer, "Solving geometric constraint system", *MIT Press*, 1992.
- [5] J.Kim, K.Kim, K.Choi and J.Y.Lee, "Solving 3D geometric constraints for assembly modeling", *Int.J.Advanced Manufacturing Tech.*, 16(11), pp.843-849, 2000.
- [6] J.Kim, K.Kim, J.Y.Lee, "Solving 3D geometric constraints for closed-loop assemblies", *The 5th Int. Conf. Engineering Design and Automation*, LasVegas, August 5-8, 2001.
- [7] J.U.Turner, S.Gupta, "Constraint representation and reduction in assembly modeling and analysis", *IEEE Trans. Robotics and Auto.*, 8(6), pp.741-750, 1992.
- [8] B.O.Nanji, "A schemea for CAD-based robot assembly task planing for CSG-based object", *Journal of Manufacturing System.*, 7, pp.131-145, 1988.
- [9] J.Kim, K.Kim, "Design automation using a product modeling language", *Proceedings of SCCE Conference*, February, 1999, Seoul, 387-392, 1999.