

조립순서결정을 위한 조립상태정보 표현에 관한 연구

이 창호*, 조 현보, 정 무영**

* 대우 고등 기술 연구소

** 포항 공과 대학교 산업 공학과

ABSTRACT

조립제품을 생산하기 위해, 부품간의 조립순서를 결정하는 문제는 전체조립공정에 중대한 영향을 미치는 문제이다. 이때 부품간의 조립순서를 결정하기 위해서는 조립상태에 관한 정보가 필요하다. 따라서 효율적인 조립순서를 결정하기 위해서는 조립상태에 대한 효과적인 표현법이 필요하게 된다. 본 논문에서는 이러한 효과적인 조립정보의 표현법으로서 CCG 를 제시한다. CCG 는 Component Coupling Graph로서 부품간의 기하학적인 간섭관계에 대한 정보를 접근 방향별로 표현한 그래프이다. 이때 접근방향은 +x, -x, +y, -y, +z, -z 의 여섯방향이다. 이 CCG 를 이용하면 각 조립상태에 대한 분해가능한 부품을 논리적으로 추론해 낼 수 있게 된다. 부품간의 기하학적인 간섭관계는 coupling 개념을 이용하여 표현하게 되는데, coupling은 각 부품간의 방향별 거리를 나타낸다.

Keyword : CCG, 조립순서, 간섭관계, Coupling

I. 서론

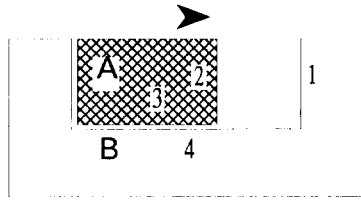
본 연구에서는 조립부품의 기하학적인 정보와 조립부품간의 위상학적인 관계에 따른 조립작업에 대한 이론적인 접근을 시도한다. 즉, 조립부품의 기하학적인 정보와 조립부품간의 위상학적인 관계의 표현 방법과 이 관계에 의해 조립순서를 찾는다. 이때 각 조립상태별로 각 부품간의 간섭관계를 쉽게 나타낼 수 있도록 고안된 CCG (Component Coupling Graph) 라는 표현 방법을 제시한다. 이 CCG 를 이용하면 각 조립상태에서의 분해되어야 할 부품을 쉽게 알 수 있게 되며 각 조립부품에 대해서는 조립방향과 거리를 동시에 고려하므로 로봇에 의한 실제 조립 공정에서 고려되어야 할 중요한 요소로 활용할 수 있다.

II. Component Coupling

조립순서는 조립품간의 기하학적인 간섭관계에 의해 규명된다. 따라서 이러한 간섭관계는 조립순서에 있어서 중요한 정보가 된다. n-disassembly 는 부품의 분해시 (n-1) 회의 유한한 직선동작이 선행된 후 최종 1 회의 분해동작으로 분해가 완료되는 부품을 의미한다. 이때, 최종 분해는 한 부품이 다른 부품과 간섭관계없이 무한대까지 이동할 수 있는 것으로 정의한다. 따라서 2-disassembly

는 부품이 분해될 때, 한번의 유한한 직선동작 후에 다른 방향으로 무한한 직선동작이 이루어져 부품이 완전히 분해될 수 있는 것을 의미한다. 이때 부품간의 간섭관계에는 두가지의 경우가 발생하는데, mating 과 coupling 이다. mating 은 두 부품간의 접촉관계를 나타내는 경우이며, 따라서 두 부품이 상호 mating 관계에 있을 경우, 한 부품이 다른 한 부품의 방향으로 동작이 제한되어 있음을 의미한다.

부품 A 가 부품 B 와 s 방향으로 coupling 관계에 있을 경우, 부품 A 를 s 방향으로 유한한 거리 d 만큼 움직일 수 있음을 의미하는데, 거리 d 를 움직일 경우 부품 B 와 mating 관계를 이루게 된다. 이때 거리 d 를 coupling distance 라고 정의한다. [그림 2-1] 은 이러한 mating 과 coupling 의 예를 보여주고 있다. 부품 A 의 면 3과 부품 B 의 면 4는 서로 mating 관계에 있다. 부품 A 의 면 2와 부품 B 의 면 1은 상호 coupling 관계에 있고, 지접적인 면 접촉관계에 의한 간섭관계는 없지만, 화살표 방향으로 부품 A 를 움직일 경우 결국 부품 B 에 의해 간섭을 받게됨을 의미한다.



[그림 2-1] Mating and Coupling

식(2-1)에서 식(2-3)은 부품간 liaison 으로서 coupling 을 정의하고 있다.

$$CC = \sum_{\delta} CC(\delta) \quad (2-1)$$

where, CC : Component Coupling,

$$\delta \in \{x, y, z, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}\}$$

식(2-1)은 부품 coupling 관계가 방향별 부품 coupling 관계에 의해 정의되어 있음을 보여주고 있다. 3차원 직교좌표 공간상에서 축에 평행한 여섯 방향(+x,+y,+z,-x,-y,-z)에 대해서 간섭관계를 고려한다.

식(2-2)는 방향별 Component Coupling (이하 CC) 은 조립체에 포함된 부품과 부품간의 liaison 에 의해 표현됨을 나타내고 있다. 부품간의 liaison 은 방향성을 가지고 있다.

$$CC(\delta) = (C, L(\delta)) \quad (2-2)$$

where, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$,

C : component,

n : the number of components

L : liaison

식(2-3)은 부품간의 liaison 관계가 서로 다른 부품간의 방향별 거리관계에 의해 정의되고 있음을 나타낸다.

$$L(\delta) = \{l_{jk}(\delta) | j, k = 1, 2, \dots, n, j \neq k\} \quad (2-3)$$

where,

$$l_{jk}(\delta) = liaison(C_j, d_{jk}(\delta), C_k),$$

$$C_j, C_k \in C, d_{jk}(\delta) \geq 0,$$

: coupling distance between C_j and C_k

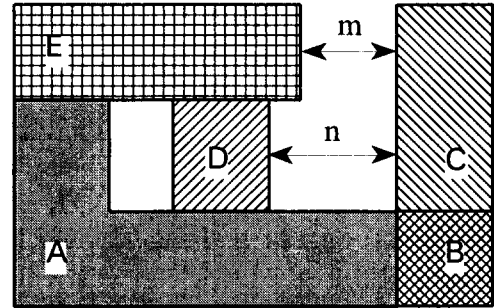
in the direction δ

liaison l_{jk} 는 부품 C_j 와 부품 C_k 간의 방향 δ 로의 관계를 나타내는데, coupling distance d_{jk} 에 의해 관계가 결정된다. Coupling distance d_{jk} 가 0 이 아닌 유한한 값을 가질 경우, 부품 C_j 는 방향 δ 로 d_{jk} 만큼 움직일 수 있으며, d_{jk} 만큼 움직인 후에는 부

품 C_k 와 mating 관계에 있게 됨을 의미한다. 부품 C_j 는 방향 δ 로 분해하고자 할 경우 부품 C_k 에 의해 간섭을 받고 있기 때문에 동작에 구속을 받고 있다. Coupling distance $d_{jk} = 0$ 가 되면 부품 C_j 는 방향 δ 로 부품 C_k 와 mating 관계이 있다는 것을 나타낸다. 본 연구에서는 mating 관계를 coupling 관계의 하나, 즉 coupling distance 가 0 인 특수한 경우로 분류한다. 또한 부품간의 liaison 관계에는 식(2-4)와 같이 가역적인 관계가 성립한다.

$$l_{jk}(\delta) = l_{kj}(\bar{\delta}) \quad (2-4)$$

[그림 2-2] 는 부품 간의 coupling distance 에 따른 liaison 관계와 부품 동작시의 coupling distance 변화에 따른 liaison 의 변화를 보여주고 있다. [그림 2-2] 에서 부품 C 는 부품 E 와는 coupling distance 가 m 이고, 부품 D 와는 n 임을 보여주고 있다.



[그림 2-2] Minimal coupling liaison 과 부품 이동에 의한 영향

부품 C 를 부품 D 방향으로 동작할때, 부품 E 와 먼저 mating 관계가 성립하게 되어 더 이상 부품 E 의 방향으로의 동작이 일어날 수 없게 된다. 따라서 부품 C 의 경우, 부품 E 와의 liaison 이 부품 D 와의 liaison 보다 중요한 정보가 된다. 이때 부품 E 와의 coupling 관계를 **minimal coupling** 이라고 한다. 식(2-5) 는 minimal coupling distance 에 대해 정의하고 있다.

Minimal coupling distance in the direction

δ for component j

$$= \text{Min}(d_{j1}(\delta), d_{j2}(\delta), \dots, d_{jk}(\delta), \dots, d_{jm}(\delta)) \quad (2-5)$$

부품 C_j 에 대해 방향 δ 로의 minimal coupling distance 는 다른 부품과의 coupling distance

중에서 최소값임을 나타내고 있다. 이때, 부품 C_j 와 minimal coupling distance 를 이루는 부품을 C_j 에 minimally coupling 관계에 있다고 한다. 이때, minimally coupling 관계에 있는 부품은 여러개가 생길 수가 있다. 따라서 한 부품에 대해 방향별로 하나 이상의 minimally coupling 관계에 있는 부품을 가지며, 총 6개 이상의 minimally coupling 관계를 가진다. [그림 2-2] 에서 부품 E 는 부품 A 또는 부품 D 와 부품 A 방향으로 minimally couple 되어 있다. 또한 부품 C 는 부품 D 방향으로 부품 E 와 minimally couple 되어 있으며, 거리는 m 이 된다. 이때, 부품 D 가 부품 C 의 방향으로 움직일 경우, $n \leq m$ 이 될때 부터 부품 C 는 부품 D 와 minimally couple 한 관계를 가진다. 또는 부품 E 를 부품 D 의 반대 방향으로 제거할때, 부품 D 부품 E 방향으로 아무런 간섭을 받지 않게 되며, 이때 coupling distance 는 로 정의한다. 또한 이때 부품 A 의 coupling 관계에는 아무런 변화가 없다. 따라서 한 부품이 동작을 할 때 마다 coupling 관계를 계속 변화하고 있음을 알 수 있다.

III. CCG 의 정의 및 표현

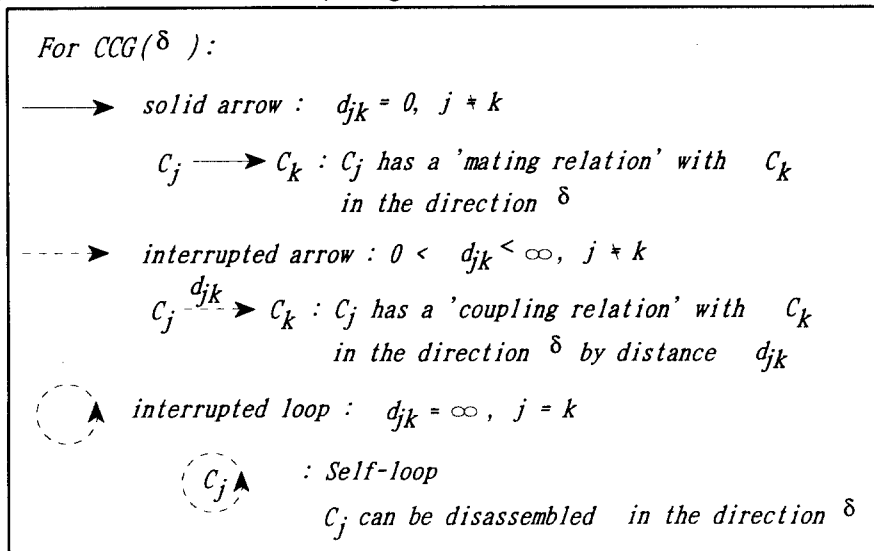
조립순서를 찾기 위한 조립상태의 표현방법으로서 AND/OR 그래프 기법[1] 이나 directed 그래프 기법 등이나 ACG 기법[2] 등이 사용되어 왔다. 그러나 이러한 방법들은 부품의 최종 조립상태에 근거한 방법이다. 따라서 부품이 조립되기 위해 이동할 때마다 발생하는 부품간의 새로운 liaison(mating,

coupling) 을 표현하기에는 적당하지 않다. 뿐만 아니라 부품의 조립 방향이나 거리 등에 대한 표현이 어려웠다. 또한 조립품에 대한 모든 가능한 경우를 모두 표현해야 하므로 부품 수가 많을 경우 표현하기 어려운 단점이 있다.

본 연구에서 제시하는 **Component Coupling Graph**(이하 CCG) 는 다음과 같은 특징이 있다.

- 가. 부품의 최종상태에 대한 liaison 뿐만 아니라, 분해되기 위해 부품이 이동함에 따라 변화하는 부품간의 liaison 을 표현할 수 있다.
- 나. 각 조립 상태에서 분해가능한 조립품을 쉽게 찾을 수 있다.
- 다. 부품의 조립 동작과 관련된 path, 즉 조립방향과 거리를 알 수 있다.
- 라. 가능한 모든 조립상태를 모두 표현하지 않고, 각 조립 상태에서의 liaison 만 표현하므로 부품수가 많은 경우에 유리하다. 즉 local map 을 이용한 방법이다.

CCG 는 부품간의 minimal coupling 관계를 표현하는 그래프이다. 이때 이러한 coupling 관계에 있을 수 있는 여러 부품 가운데 각 방향별로 하나씩만을 나타내는데, 이러한 표현만으로도 부품간의 간섭관계를 충분히 알 수 있기 때문이다. [그림 3-1] 은 이러한 CCG 에 대한 표현법에 대해 설명하고 있다.

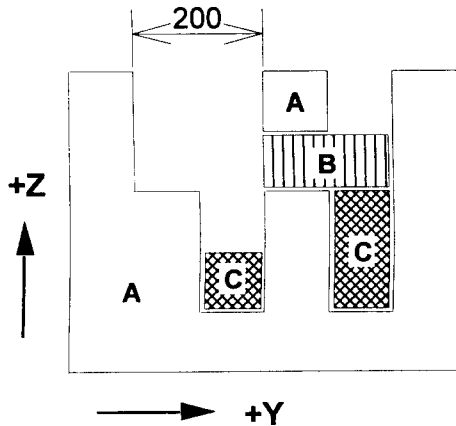


[그림 3-1] CCG 의 표기법

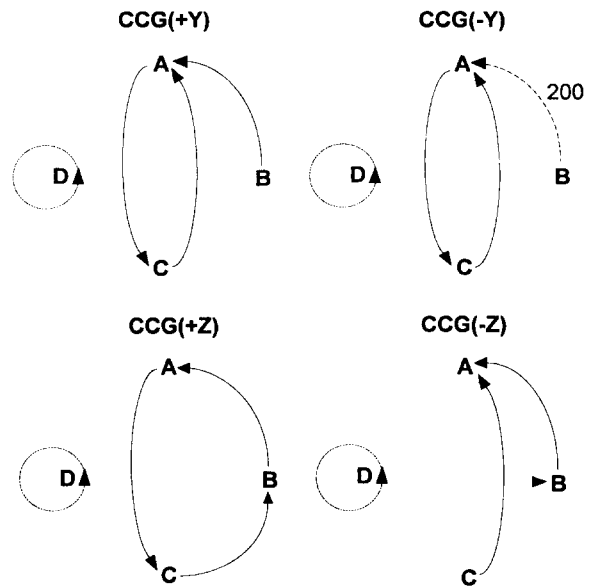
CCG 는 각 방향별로 여섯개가 성립한다.

이때 화살표는 간섭관계를 표현하며, 실선으로 표현된 화살표는 mating 관계 즉, coupling distance 가 0 인 경우이며, coupling distance 가 0 이 아닌 유한한 값에 대해서는 점선의 화살표로 표현한다. 예를 들면, $CCG(\delta)$ 에서 $C_j \rightarrow C_k$ 는 C_j 를 방향 δ 로 분해하고자 할때, C_k 에 의해 간섭을 받게되며, 이때 두 부품 사이의 거리는 0 임을 나타낸다. 특히, 점선으로 표현된 루프는 coupling 에 대한 정의와는 다르게 표현되어 있다. 즉, 부품 스스로와의 liaison 관계를 허용하고 있다. 이것은 어느 다른 부품에 의해서도 간섭을 받지 않음을 의미하는 것이다. 따라서 [그림 3-1] 에서 부품 C_j 는 방향 δ 로 무한대까지 아무 간섭없이 제거할 수 있음을 나타낸다. 이것은 CCG 그래프를 이용하는 궁극적인 목적 중의 하나이기도 하다. 즉, CCG 를 이용하여 나타나는 self-loop 이 곧 분해가능한 부품이며, 분해 방향이다. 특히, 이 self-loop 이 어느 방향에 대한 CCG 에도 나타나지 않을 경우에는 점선 화살표에 의해 표현된 2-disassembly 를 찾아 coupling distance 내에서 동작을 취한후 다시 coupling 정보를 추론하여, CCG 를 생성하여야 한다.

[그림 3-2] 는 CCG 생성의 예를 보여 준다. 이해의 편의상 YZ 단면도와 이에 대한 CCG 4 개 (+y, -y, +z, -z) 를 생성하는 예를 보여 주고 있다. [그림 3-2] 에서 (a) 는 단면도를 (b) 는 단면도에 대한 CCG 를 보여 준다.



(a) YZ 평면 단면도



(b) 단면도 (a) 에 대한 +y, -y, +z, -z 방향에 대한 Component Coupling Graph
[그림 3-2] 부품 D 를 분해한 후의 단면도 및 CCG

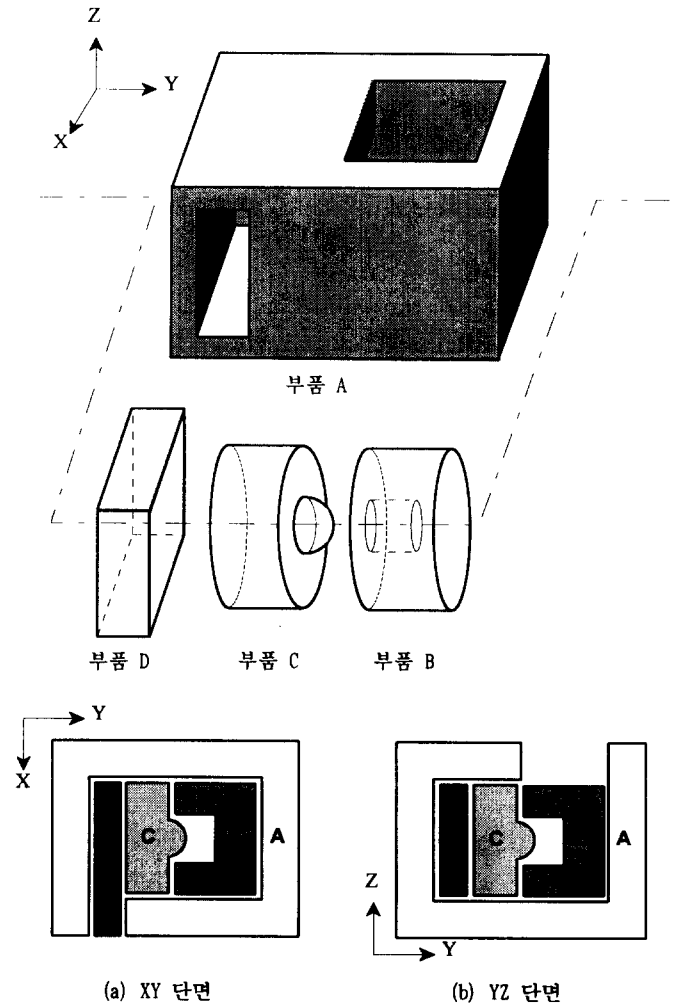
이 경우에는 부품 D 는 어느 방향으로도 다른 부품과 간섭관계에 있지 않음을 보여 주고 있다. 이것은 부품 D 가 이미 분해되었다는 사실을 알려 준다. (b) 의 그래프는 부품 D 를 제외한 어떠한 부품도 self-loop 을 형성하고 있지 않음을 보여 주고 있다. 따라서 [그림 3-2] 의 조립 상태에서는 어느 부품도 1-disassembly 동작으로는 분해되지 않음을 의미한다. 그러나 CCG(-Y) 에서 부품 B 가 거리 200 만큼 이동가능함을 나타내고 있다.

IV. 실험 및 결과

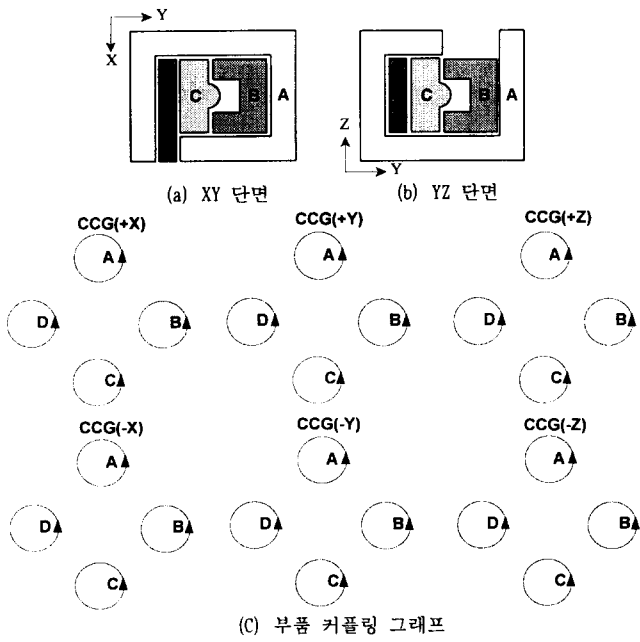
조립방향과 path 정보를 가진 조립순서를 찾기위해, 본 연구에서 제안된 방법에 대하여 간단한 프로토타입 시스템을 개발하였다. 시스템은 Sun sparc workstation 호환기종과 X-motif 환경하에서 C-언어로 개발되었다.

실험 예제는 2-disassembly, nonmonotone, 1-multiple, 1-parallel 한 조립체이다. 대상 조립체는 실린더로 된 부품내에 hole 이 있는 것과 반구로 된 peg 를 가진 형상이다. [그림 4-1] 은 조립체에 대한 간단한 도해를 보여 주고 있다. [그림 4-1] 은 각 부품별 형상과 상대적인 위치를 보여 주고 있으며, (a), (b) 는 XY 단면과 YZ 단면을 보여 주고 있다. [그림 4-2] 는 각 부품과 각 방향에 대해 coupling 정보를 초기화한 CCG 이다. 부품 C 는 nonmonotone, 2-disassembly 이며, 나머지 부품은

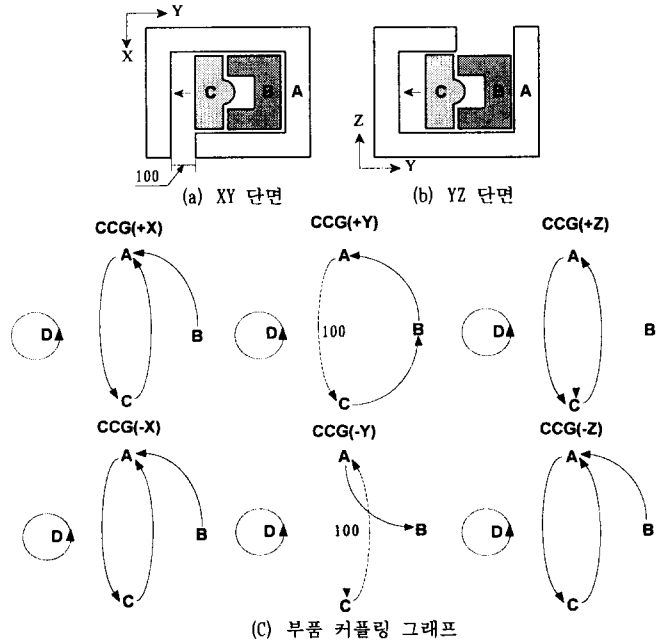
monotone, 1-disassembly 이다. 즉, 부품 B가 분해되기 위해서는 부품 C의 일시적인 위치이동이 필요하다. [그림 4-3]은 초기 assembly list에 대한 CCG이다. [그림 4-7]까지 각 조립상태에 대하여 CCG를 보여 주고 있으며, 각 단계별로 분해동작과 분해부품을 알 수 있다. 먼저, [그림 4-3]에서 부품 D가 +X 방향으로 분해될 수 있음을 나타내고 있다. [그림 4-4]는 부품 D가 분해된 후의 CCG이다. 이때 다른 부품의 경우 self-loop가 형성되어 있지 않으므로 분해될 수 없다. 그러나 부품 C와 부품 A가 coupling 관계에 있음을 알 수 있다. [그림 4-5]는 부품 C를 -Y 방향으로 100 이동한 후의 CCG이다. 이때, 부품 B가 +Z 방향으로 분해될 수 있음을 알 수 있다. [그림 4-6]은 부품 D와 부품 B가 분해된 것을 보여 주며, 부품 C가 +Y 방향으로 부품 A에 coupling 되어 있음을 보여 준다. [그림 4-7]은 부품 C를 +Y 방향으로 500 이동한 후의 그림이다. 이때 부품 C를 +Z 방향으로 분해할 수 있음을 알 수 있다. [그림 4-8]은 최종 분해가 완료된 후의 CCG이다. 모든 부품이 disassembly list에 등록된 것을 의미한다. 따라서 조립순서는 이러한 분해순서의 역순이 된다.



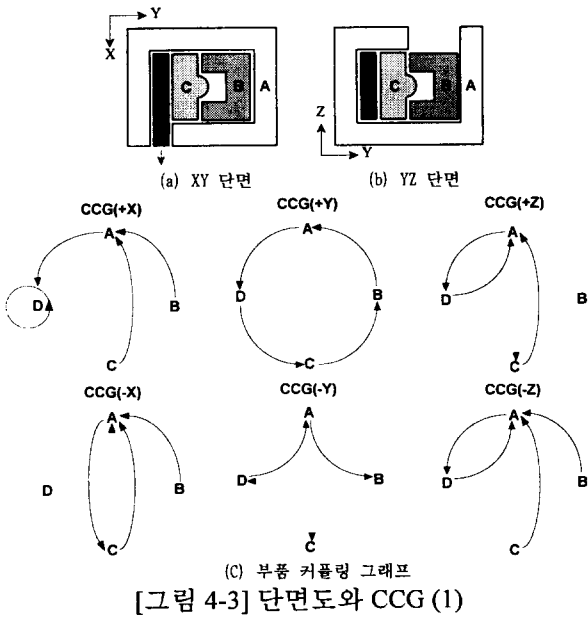
[그림 4-1] 최종 조립품 및 단면도



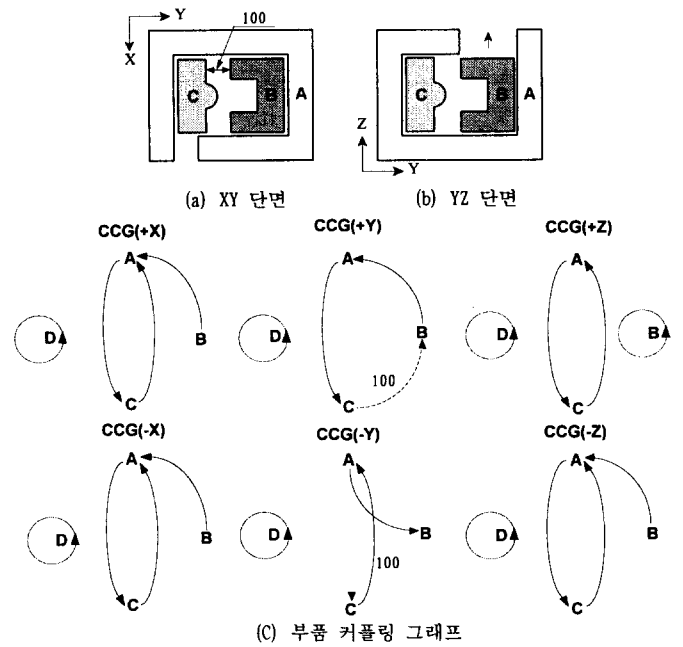
[그림 4-2] 단면도와 CCG (0)



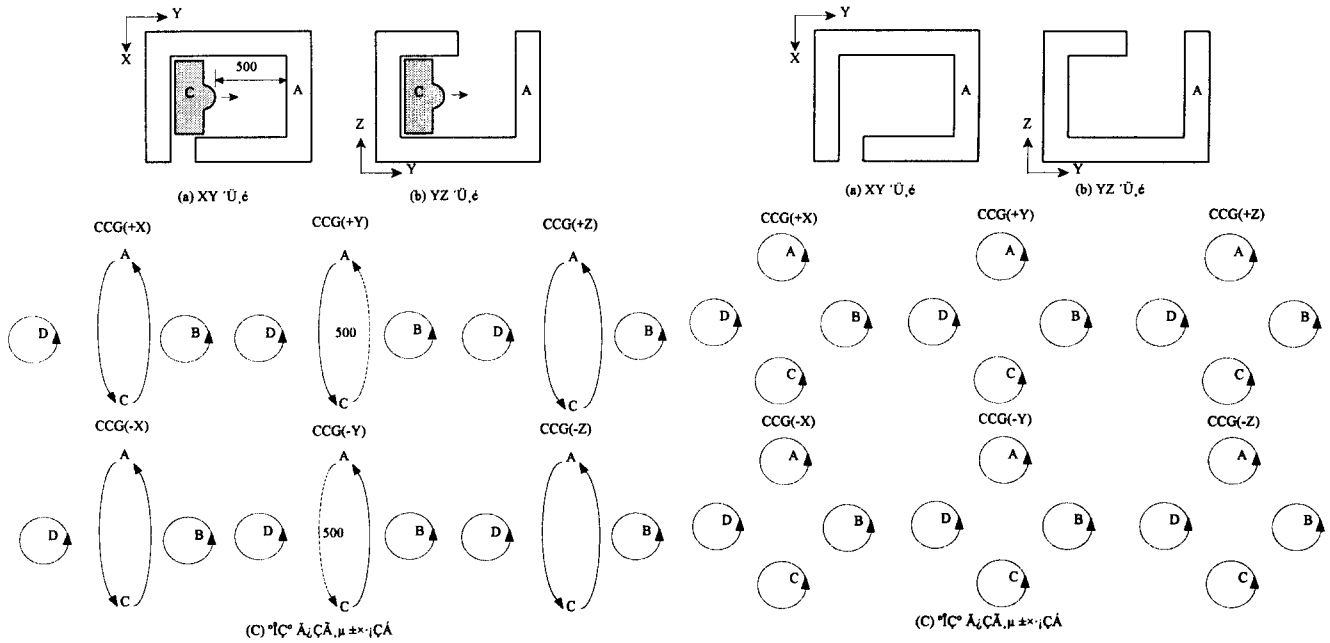
[그림 4-4] 단면도와 CCG (2)



[그림 4-3] 단면도와 CCG (1)

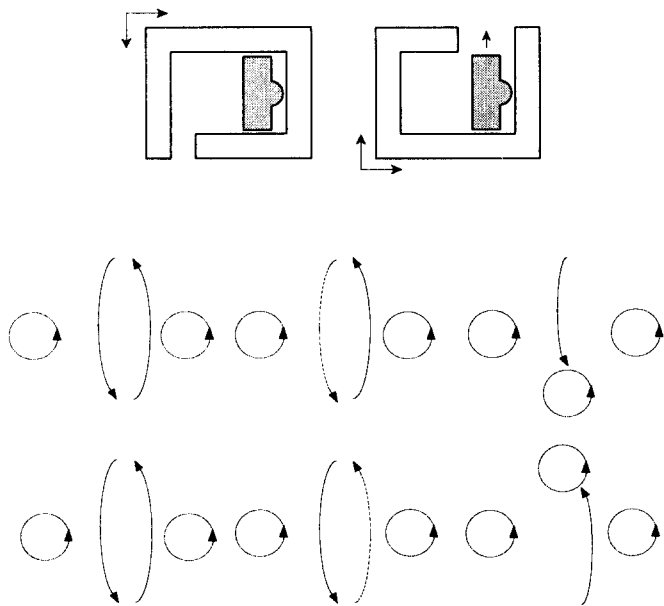


[그림 4-5] 단면도와 CCG (3)



[그림 4-6] 단면도와 CCG (4)

[그림 4-8] 단면도와 CCG (6)



[그림 4-7] 단면도와 CCG (5)

V. 결론 및 추후연구과제

가능한 조립순서는 부품의 기하학적인 형상과 부품간의 상호 위치관계에 의하여 제약을 받는다. 이러한 부품간의 상호 위치관계에는 면 접촉관계 뿐만아니라 면 접촉이 없는 관계에서도 상호 제약관계에 있을 수 있다. 조립순서의 자동생성에 있어서의 어려운 점은 다양한 형상의 조립부품간의 이러한 제약관계를 어떻게 추론해 낼 것인가의 문제이다.

본 연구를 통하여 각 조립상태에 대해 CCG 를 생성하며, CCG 를 기본으로하여 가능한 조립순서를 찾을 수 있다. 이 CCG 를 이용하여 기존의 연구에서 다루기 어려웠던 nonmonotone 한 경우의 조립체에 대해서도 조립순서 추론이 가능하다. 조립체는 nonmonotone 한 경우를 포함하여 2-disassembly, 1-multiple, 1-parallel 한 경우를 대상으로 한다. 조립방향은 +x, -x, +y, -y, +z, -z 의 여섯 방향이다.

추후 연구 과제는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

가. 3차원 직교 좌표축에 평행한 여섯방향이 외에 대해서도 분해방향을 찾을 수 있어야 한다.

나. 부품간의 mating 방법에 따라 달라질 수 있는 조립순서를 결정할 수 있어야 한다.

REFERENCES

- [1] Homem De Mello, L.S. and Sanderson, A.C. "AND/OR Graph Representation of Assembly Plans", *IEEE Tran. on Robotics and Automation*, Vol. 6, No. 2, April, 1990, pp 188-199.
- [2] Wolter, J.D. "On the Automatic Generation of Plans for Mechanical Assembly", PhD thesis, Michigan Univ, 1988.
- [3] Beasley, D. and Martin, R.R. "Disassembly Sequences for Objects Built from Unit Cubes", *Computer-Aided-Design*, Vol. 25, No. 12, 1993, pp 751-761.
- [4] Sekiguchi, H. et al. "Study on Automatic Determination of Assembly Sequences", *Annals of the CIRP*, Vol. 32, No. 1, 1983, pp 371-374.
- [5] Wolter, J.D. "On the Automatic Generation of Assembly Plans", *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 1989, pp 62-68.
- [6] Homem De Mello, L.S. and Sanderson, A.C. "A Correct and Complete Algorithm for the Generation of Mechanical Assembly Sequences", *IEEE Tran. on Robotics and Automation*, Vol. 7, No. 2, April, 1991, pp 228-240.
- [7] Ko, H. and Lee, K. "Automatic Assembling Procedure Generation from Mating Conditions", *Computer-Aided-Design*, Vol. 19, No. 1, 1987, pp 3-10.
- [8] Linn, R.J. and Tu, H.Y. "Automatic Precedence Relationship Extraction for Assembly Sequence Generation", *J. Design and Manufacturing*, Vol. 3, 1993, pp 105-119.
- [9] 이창호, 정무영, "복셀화를 통한 조립순서생성에 관한 연구", *대한산업공학회 추계학술대회 발표논문집*, 1994, pp 519-524.