한국정밀공학회지 제 16 권 제 5 호 (1999 년 5 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 5, May 1999.

조립 공정 계획을 위한 지식기반 시스템

박홍석*, 손석배**

A Knowledge-based System for Assembly Process Planning

Hong-Seok Park*, Seok-Bae Son**

ABSTRACT

Many industrial products can be assembled in various sequences of assembly operations. To save time and cost in assembly process and to increase the quality of products, it is very important to choose an optimal assembly sequence. In this paper, we propose a methodology that generates an optimal assembly sequence by using the knowledge of experts. First, a product is divided into several sub-assemblies. Next, the disassembly sequences of sub-assembly are generated using disassembly rules and special information can be extracted through the disassembly process. By combining every assembly sequence of sub-assemblies, we can generate all the possible assembly sequences of a product. Finally, the expert system evaluates all the possible assembly sequences and finds an optimal assembly sequence. It can be achieved under consideration of the parameters such as assembly operation, tool change, safety of part, basepart location, setup change, distance, and orientation. The developed system is applied to UBR(Unit Bath Room) example.

Key Words : Disassembly rules(분해 법칙), Subassembly generation(Subassembly 생성), Assembly parameters(조립 요소), Alternative sequence evaluation(대체 순서 평가)

1. 서론

조립 계획의 여러 분야들 가운데 최적 조립순서의 생성에 관해서 살펴보면 주로 가능한 모든 조립순서의 생성과 가능해의 평가를 통한 조립순서의 결정에 관한 연구가 수행되었다.

가능한 모든 해를 생성하기 위하여 수 많은 질의와 응답을 통해서 조립 구속조건의 추론을 통한 방법[1]이 연구되었으며, 기하학적인 형상과 부품 연결관계의 추론을 통한 조립순서의 생성에 관한 연구[2]가 수행되었다. 기존의 연구는 해의 수가 부품의 증가에 따라서 지수적으로 증가하는 단점이 있었다. 이러한 탐색방법은 상당한 정도의 시스템을 요구하고 부품 증가에 따른 복잡도가 문제가 되었으며, 시간과 인력면에서 많은 문제를 초래할 뿐만 아니라 이를 수행하는 계획자들에도 매우 어렵고 지루한 작업이다. 또한 생성된 조립순서 가운데 불가능한 것도 존재하므로 더욱 어려움이 따른다. 특히 기계조립품과 같은 경우에는 부품들의 조립방법도 다양할 뿐만 아니라 부품들간의 연결관계 또한 PCB (Printed Circuit Board)와 같은 조립품에 비하면 아주 복잡하므로 기하학적인

* 울산대학교 기계공학부
** 광주과학기술원 기전공학과

관계, 조립 난이도, Setup 등 다양한 항목의 충분한 고려하에 조립순서 생성 작업을 수행하는 것은 더욱 힘들다. 이를 극복하기 위해서 위치정보만을 이용한 분해방법을 도입하기도 하였으나 연결관계가 복잡한 제품에 적용하기에는 한계가 있었다[3, 4, 5].

생성되어진 가능한 조립 순서들의 평가를 통하여 최적의 조립순서를 결정하기 위해서는 제품의 종 류와 조립 환경에 따라서 서로 다른 여러 가지 평가항목을 필요로 한다. 조립순서를 평가하는 항목들에 대한 관점에서 살펴보면, 여러 가지 측면에서 조립순서를 평가하기 위하여 이용될 수 있는 구속 조건들에 대한 연구가 수행되었다[6]. 하지만 각 항목에 대한 평가방법과 상대적인 중요도의 결정도 조립 문제에 따라서 매우 다른 양상으로 나타나므로 종합적이고 일반적이며 구체적인 평가 시스템은 개발되지 못하고 있으며 비교적 평가가 용이한 항목에 대해서만 제한적으로 개발되고 있는 실정이다[3, 7]. 이 때문에 생성되어진 조립순서는 비현실적인 결과가 되기도 하였다. 평가방법을 개선하기 위한 연구의 일환으로 각각의 조립 작업(Assembly Operation)의 난이도를 Fuzzy 함수를 이용하여 평가한 연구가 수행되기도 하였으나 다양한 항목들에 대해서 평가하지는 못하였다[8].

이러한 문제를 극복하기 위해서 본 연구에서는 우선 부품들의 접촉관계 정보를 바탕으로 Sub-assembly 를 자동으로 생성하여 각 Sub-assembly 단위에서 조립문제를 고려하여 줌으로써 전체시스템을 단순화하고자 한다. 그리고 생성되어진 Sub-assembly 는 3 차원 CAD 모델을 이용하여 분해작업을 수행하여 불가능하거나 불필요한 공정들을 초기에 제거할 수 있도록 하였다. 이 작업의 원활한 수행을 위해 여러 가지 분해 법칙들이 개발되었다. 이 과정에서 다음 단계인 평가를 위한 다양한 정보들, 예를 들면 조립방법, Setup 변환, 접근성 등이 추출되었다. 이들에 의한 다양한 측면에서의 평가로 해의 정확성을 기하였다. 현실적인 결과를 얻기 위해 많은 조립과제를 해석하여 조립난이도 및 경제성의 측정에 이용될 요소들을 유도하고 전문가의 풍부한 경험과 지식도 수집하였다. 이들을 지식베이스로 구축하여 복잡한 조립과제에도 응용되게 함으로서 신뢰성 있고 현실적인 시스템이 되도록 하였다. 개발된 시스템을 UBR(Unit Bath Room)의 조립과제에 적용하여봄으로써 시스템의 성능을 입증하였으며 응용 가능성을 보였다.

2. 조립순서 생성 시스템

2.1 시스템 구성

조립순서 생성 시스템은 Sub-assembly 생성 Tool, 분해순서 생성 Tool, 가능한 모든 조립순서 생성 Tool, 최적 조립순서를 선정하기 위한 전문가 시스템 그리고 각 Tool 에 필요한 데이터를 공급하고 저장하기 위한 Database System 으로 구성되어 있다(Fig. 1).

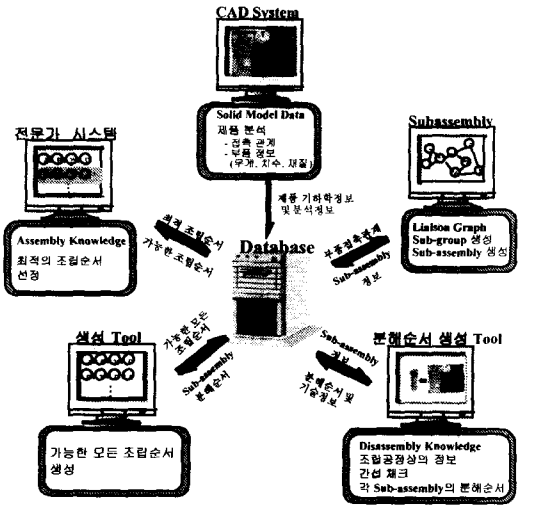


Fig. 1 System Architecture

이 데이터는 제품의 설계정보와 분해 과정에서 얻은 조립정보를 포함한다. 각각의 시스템들은 통합적인 관점에서 제품의 설계단계(CAD Graphic Model Data)에서 제조단계(조립을 위한 정보)까지 필요한 여러 가지 정보들을 종합적으로 이용할 수 있다.

우선 CAD 시스템에서 제품의 분석을 통해서 기하학적인 접촉관계와 무게, 치수, 형상 등의 정보를 획득한다. 얻어진 정보는 데이터베이스 시스템에 저장한다. 첫번째 생성 Tool 인 Sub-assembly 생성 모듈에서는 부품접촉관계정보를 입력으로 하여 제품의 Sub-assembly 를 생성한다. 다음으로 Simulation Tool 을 이용하여 앞서 생성된 Sub-assembly 단위로 부품의 Solid Model 을 읽어 들여 분해작업을 수행한다. 이 과정에서 개발된 분해규칙들이 이용되었으며, 2.3 절에 자세하게 설명하였

다. 이 시스템에서는 간섭체크 등의 기능을 이용하여 분해를 수행하며, 부가적으로 조립공정상의 정보들을 획득한다. 여기에서 얻어진 분해순서와 기술정보는 계획자가 다시 데이터베이스 시스템에 입력한다. 두 번째 가능한 모든 조립순서를 생성하는 모듈에서는 분해시스템에서 생성된 각 Sub-assembly 의 분해순서를 역으로 조합하여 가능한 모든 조립순서를 만들어 내게 된다. 이렇게 생성된 가능한 조립순서들은 조립지식과 전문가의 경험으로부터 유도된 법칙에 의해 평가되어 최적의 해를 제시한다.

2.2 Sub-assembly 생성 Tool

조립순서 생성의 최소 단위는 Sub-assembly 단위로 이루어지며, Sub-assembly 는 제품의 기하학적인 간섭조건의 분석을 통해서 정의가 된다. Sub-assembly 는 하나의 Sub-group 또는 여러 개의 Sub-group 의 조합으로 구성이 된다. Sub-group 은 " Cutvertex (Liaison Graph[3]에서 제거하였을 경우 부품들의 분리를 유발하는 노드)를 제거할 때 분리되어지는 Liaison Graph 상의 부품들의 집합 "으로 정의하였다.

본 모듈에 이용된 기본적인 원리는 Liaison Graph 에서 폐다각형을 찾아냄으로써 Sub-group 를 찾아내는 것이다. 폐다각형이 갖는 의미는 어느 공통 부품을 중심으로 다른 폐다각형과 결합될 경우 연결고리가 2 개 이상이어서 분리될 수 없음을 나타낸다. 그 외인 한 Sub-group 에서 분기되어 일렬로 늘어서는 형태를 갖는 경우에는 이를 하나의 Sub-group 으로 하였다. 이러한 기본적인 개념하에서 Sub-assembly 생성을 위해 개발된 Tool 의 작업절차를 Fig. 2 에 나타내었다.

연결관계를 규정할 수 있는 조립 결합관계의 예로는 Pressure Fit, Push Fit, Taper Fit, Key Fit, Screw Fit, Loose Fit 등 여러 기계조립상 박음(Fitting)과 Welding, Screwing, Riveting 등의 결합과 단순 접촉(Contact) 등이다. 이에 근거하여 Sub-assembly 생성을 위한 입력정보는 조립대상물내 각각의 부품에 대해서 그 부품과 연결관계에 있는 모든 부품들을 기술함으로써 접촉관계 Matrix 를 생성한다. 즉 각각의 부품을 Matrix 각 행의 처음에 위치하고 그 뒤에는 첫 부품과 연결관계가 있는 모든 부품들을 나열한다. 이와 같은 방법을 전체부품에 대해서 수행하게 하여 연결관계를 모두 나타낸다.

Sub-assembly 생성에 필요한 폐다각형 형태를 만들기 위해서는 우선 Liaison graph 에서 가지처럼 붙어있는 싱글 노드를 제거하여야 한다. 접촉관계 Matrix 에서 각 행의 가장 앞 부분에 존재하는 부품(이하 기준부품이라 한다)을 제외한 연결부품의 개수를 조사하여 하나만 존재하는 경우는 이 기준부품을 싱글 노드라 한다. 이 기준부품을 접촉관계 Matrix 내 연결부품들 중에서 제거한다. 향후 Sub-group 의 생성을 위해서 이 싱글 노드가 어느 부품과 결합되어 있었는지를 저장하여 둔다. 그 후 우선 접촉관계 Matrix 내에서 같은 부품들로 구성된 행이 있는지를 조사하여 존재하면 그것을 과정해로 저장한다. Fig. 2 의 각 단계에서 생성된 해는 최종적으로 생성되는 Sub-assembly 의 부분집합 관계가 있다. 그러므로 여기에서 과정해라고 하는 것은 여러 단계의 판단결과 얻어진 중간 결과로 최종 결과의 생성에 필요한 부품집합이라고 규정한다. 과정해로 저장된 부품들을 접촉관계 Matrix 내의 연결부품들에서 제거한다.

다음에는 어느 한 행이 다른 행에 부분적으로 포함되는지를 검사한다. 앞 단계에서 완전히 같은 부품들로 구성된 행이 없는 경우는 행 전체에 대해서 부분집합 관계를 검사하고, 반면에 같은 행이 있는 경우는 같은 부품들이 제거된 Matrix 내에서 비교하는 행이 비교당하는 행의 연결부품들에 포함되는 지를 검사한다. 각각의 경우에 대해서 Fig. 2 의 가운데 부분의 판단문에서와 같이 전자의 경우는 비교하는 행(A)이 또 후자의 경우는 비교당하는 행(B)이 과정해로 저장된다. 여기에 나타나 있는 A, B 는 모두 접촉관계 Matrix 의 행들이다. 역시 저장 후에는 접촉관계 Matrix 내의 연결부품들에서 제거한다.

다음 단계로는 각 행을 비교해서 같은 부품이 2 개 이상인 것을 검사하여 존재할 경우 두 행을 합쳐서 하나의 과정해로 저장한다. 같은 것이 2 개 이상이라는 것은 폐다각형을 그릴 때 두 행의 부품들은 그 속에 같이 포함된다는 것을 의미한다. 다시 말해서 두 행은 서로 떨어질 수 없는 연결관계에 있다는 것을 의미한다. 이것을 과정해로 저장하고 접촉관계 Matrix 내의 연결부품들에서 제거한다.

다음으로 두 행에서 부품 하나가 같은 것을 합쳐서 하나의 과정해로 한다. 이 경우는 폐다각형을 이루지는 않지만 일렬로 늘어서는 경우이므

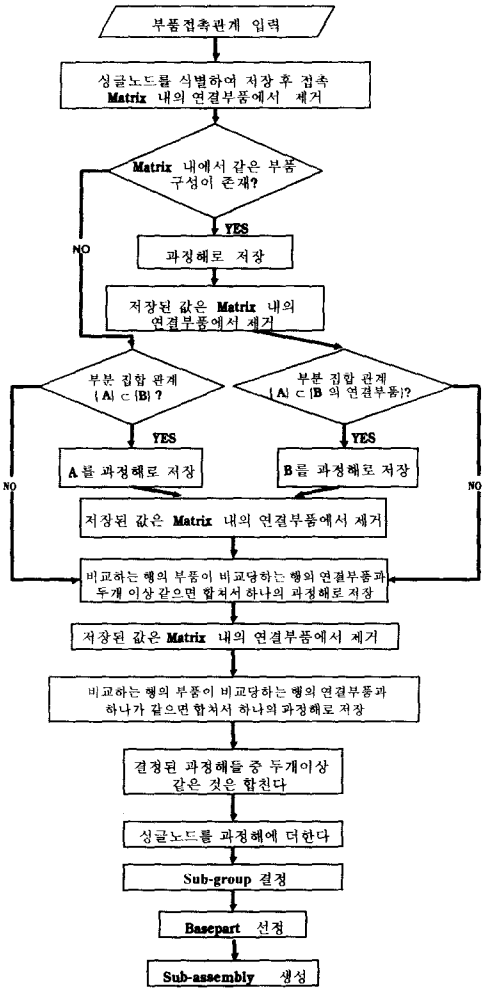


Fig. 2 Algorithm for the generation of sub-assembly

로 과정해로 저장된다. 이로써 접촉관계 Matrix 에서 과정해를 생성하는 과정은 모두 끝나게 된다.

최종적인 과정으로 이렇게 앞서 구해진 과정해들을 서로 비교해서 같은 부품이 2 개 이상인 것은 서로 인접해 있는 폐다각형을 나타내기 때문에 두개의 과정해를 합쳐서 하나의 과정해로 나타낸다. 끝으로 처음에 제거한 싱글 노드를 앞서 생성된 해에 연관관계가 있는 부품을 찾아서 더하여 주면 Sub-group 이 생성된다.

단순한 Liaison Graph 에만 의존한 기존의 연구[3]에서 Sub-group 단위로 조립순서를 생성하므로, 이러한 경우 만약 하나의 공통 부품(Common Part)을 기준으로 여러 개의 Sub-group 이 생성될 경우 Sub-group 간의 조립순서에 따라서 기하학적인 간섭이 발생하여 조립이 불가능한 경우가 발생할 수도 있다. 그러므로 이러한 방법은 항상 옳은 결과를 생성하지는 않는다. 특히, 기계조립품의 경우는 축을 중심으로 한 조립과 같이 하나의 부품을 중심으로 여러 개의 Sub-group 이 형성되는 경우가 빈번하게 발생한다. 이러한 문제점은 다양한 제품의 Liaison Graph 의 분석결과에 의하면 공통 부품이 Basepart 의 성격을 갖는 경우에 발생한다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 간섭문제를 사전에 방지하기 위해서는 생성되어진 Liaison Graph 의 기반하에 Basepart 를 중심으로 그에 연결된 Sub-group 들을 하나의 Sub-assembly 로 하는 것이 타당하였다. Basepart 의 선정은 부품정보 입력단계에서 획득된 무게, 연결 부품수, 크기를 주어진 조립과제에 맞게 가중치를 주어 산정함으로써 이루어졌다.

2.3 Sub-assembly 분해를 통한 조립순서 생성

조립과제의 다양성, 제품의 구조, 조립방법, 규모를 종합적으로 고려하여 조립순서의 생성에 일반적으로 고려할 수 있는 전략 및 법칙을 개발하는 것은 무척 어렵다. 간단한 법칙들을 이용하여 자동화된 시스템[9]이 소개되고는 있으나 상당히 제한적인 조건하에서 응용 가능하다. 일반적으로 이러한 많은 시스템들은 단순히 기하학적인 간섭조건만을 고려하여 분해순서를 생성하는 경우가 많은데 이런 경우에는 최적해를 생성할 수 없는 경우도 있다.

본 연구에서는 제품이 앞 절에서 개발된 Tool 에 의해 각각의 Sub-assembly 로 나누어지면 각 Sub-assembly 의 CAD Solid Model 을 이용하여 UG Assembly Tool 상에서 분해작업을 수행한다. 이때 현장전문가의 풍부한 경험과 조립이론에 바탕을 두어 개발한 분해법칙(Disassembly Rules)을 따른다 (Fig. 3).

분해의 기준이 되는 분해법칙은 병행 조립이 아닌 일련의 연속적인 작업으로 구성되는 많은 조립과제들을 해석함으로써 유도하였다. 분해법칙에 의한 계획자의 분해로 적은 입력자료에도 불구하고 정확한 해를 얻고, 다양한 제품 모델의 조립문제에 대해서도 능동적으로 응용 가능하다. 계획자는 주어진 분해원칙에 따라서 분해 작업을 수행하여 분해순서를 결정하며 동시에 조립방향, Setup

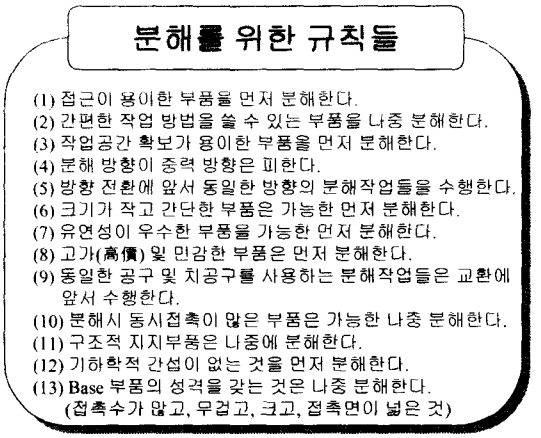


Fig. 3 Disassembly rules

변환 여부, 접근성을 위한 조립 장소의 형상 등의 조립정보를 추출하여 시스템의 데이터베이스에 저장하게 된다. 추출된 정보는 최적 조립순서 선정을 위한 평가정보로 이용할 수 있도록 하여 좀더 다양한 요소들(Parameters)로서 조립순서를 평가함으로써 더욱 정확한 해를 얻을 수 있다.

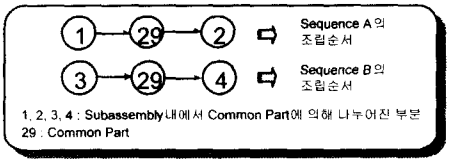
다양한 분해규칙들을 적용하여 분해작업을 수행한다고 하여도 단순하게 조립순서를 규정하기 힘든 경우가 나타나게 된다. 우열을 가릴 수 없는 경우에는 모든 분해순서들을 가능한 분해순서로 기록을 한다. 즉, 하나의 Sub-assembly 에 대해서 가능한 여러 개의 분해순서가 생성될 수 있다.

분해를 통해서 얻을 수 있는 주요한 이점들 가운데 가장 중요한 것 가운데 하나는 기존의 많은 조립 시스템이 조립순서를 생성하기 위해서 필수적으로 수행해야만 했던 기하학적 구속조건과 접촉 구속조건의 점검을 하지않아도 된다는 것이다. 이러한 구속조건의 검사는 일반적으로 아주 높은 복잡도를 가지며 데이터 입력에 많은 시간과 비용을 요한다. 이 때문에 시스템의 성능저하에 큰 몫을 차지하던 부분이었으며, 제한적인 범위 및 과제에 대해서만 응용 가능하였다. 특히 부품수가 많은 경우에는 심각한 문제를 발생시키기도 했다.

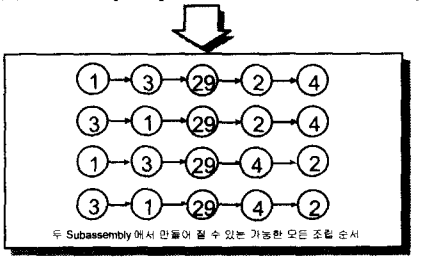
조립순서는 분해순서의 역순이라고 가정한다. 이러한 가정이 만족하기 위해서는 기본적으로 다음의 두 가지 조건을 만족하여야 한다. 첫째, 순차성을 만족하여야 한다. 순차성이란 한번의 조립 동작은 어떤 하나의 단품(Part) 또는 조립군(Sub-assembly)에만 적용되어 일어난다는 것이다. 둘째, 단조성을 만족하여야 한다. 단조성이란, 일단 작업이 수행되어 조립이 완료된 부품들 간에는 그 상대적인 위치가 변하지 않는다는 것을 의미한다. 다시 말해서 한꺼번에 두개의 부품이 동시에 조립될 수 없고 또한 이미 조립된 부품은 절대로 움직일 수 없다는 것이다.

2.4 가능한 모든 조립순서 생성

제품의 최적 조립순서를 얻기 위해서는 먼저 가능한 모든 조립순서들을 생성하는 것이 필요하다. 이를 위해 분해를 통해 생성된 각 Sub-assembly 의 조립순서를 모두 조합하여 한 제품 전체 조립에 가능한 모든 조립순서를 생성하여야 한다(Fig. 4).



(a) Assembly sequence of each subassembly



(b) All feasible assembly sequences

Fig. 4 Generation of all feasible assembly sequences

하나의 Sub-assembly 내에서 Common Part 의 조립순서 보다 우선하는 부품들은 각 Sub-assembly 의 조립순서를 조합하여 하나의 조립순서를 생성할 때에도 항상 Common Part 의 조립순서 보다는 우선하게 된다. 그리고 Common Part 보다 뒤에 조립되는 부품들은 전체 조립순서 생성시에도 항상 Common Part 의 조립순서 보다 뒤에 위치하게 되는 것이다. 이와 같은 원리로 각 Sub-assembly 들의 조립순서를 하나로 만들 수 있다. Sub-assembly 의 개수가 3 개 이상이거나 하나의 Sub-assembly

의 조립순서가 여러 개라 하더라도 위와 같은 방법으로 전체의 조립순서를 모두 생성할 수 있다.

2.5 최적 조립순서 선정

2.5.1 평가를 위한 조립공정 해석 요소들 (Parameters)

조립순서 결정에 영향을 주는 요소들을 파악하기 위해서 다양한 종류의 조립순서를 기술적 및 경제적인 측면에서 체계적으로 조사를 하였다. 여러 실험 결과에 따르면 부품의 결합 형태와 설계상의 구조가 조립순서에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 관련하여 조립순서 결정 법칙을 위한 요소들을 유도하였다. 조립에 소요되는 비용, 시간과 조립공정상의 어려운 점 등을 감안하여 각 요소에 대하여 조립순서 결정의 중요도를 가중치로 나타내었다(Fig. 5). 이것은 연구 대상품에 대한 다양한 실험결과와 전문가의 지식에 근거를 두어 종합적인 평가에 의해서 이루어졌다. 이로써 위 요소들에 근거한 법칙에 의해 작동하는 전문가시스템의 결과와 실제 현장 전문가의 판단에 의한 결정과의 차이를 최소한으로 줄이고자 하였다.

정렬 및 위치 오차는 특히 자동조립에서 엄격히 관리되어야 할 사항이지만 수동 조립에서도 조립작업의 용이성과 시간에 큰 영향을 끼친다. 이들은 Setup 의 변경에 의해 초래되므로 가능한 최소한의 Setup 변환하에서 조립을 수행해야 한다. 또한 Setup 자체에 요구되는 시간과 비용도 다른 요소들 보다 훨씬 높았다. 특히, 산업용 기계의 경우와 같이 무겁고 부피가 큰 제품의 경우 Setup 의 변경은 막대한 추가 비용과 시간의 손실을 가져오기도 한다. 분해시 입력된 필요한 치공구와 Setup 위치 등으로 이의 변경사항을 감지한다.

조립할 주변 형상도 실험 결과에 따르면 조립공정에 중요한 역할을 한다. 어느 방향으로도 접근이 가능한 위치에서의 조립이 작업공간의 제한을 받는 장소에서의 조립보다는 훨씬 쉽게 이루어졌다. 그러므로 조립장소의 위치는 접근이 용이한 방향으로 조립이 진행되도록 하여야 한다. 이를 위해 조립물의 접합장소를 분석하여 조립자유도에 따라 1 자유도에서 5 자유도까지 5 가지의 유형으로 분류하였다. 조립의 방향은 6 개(±X, ±Y, ±Z)로 정의하였으며, 이에 기반을 두어 분해시 조립장소의 접근형태를 조사하여 분해자유도에 따라서 각 부품의 조립시 접근성을 평가한다. 예를 들면, 육면체의 한 면에 존재하는 홈에 다른 부품이 조립되어 있다면 오직 한 방향에서 접근이 가능하므로 이 경우는 자유도가 1 이 된다. 그리고 홈이 없는 평편한 면에 조립이 되어있을 경우에는 -Z 방향을 제외한 모든 방향으로 분해가 가능하므로 조립자유도는 5 가 된다.

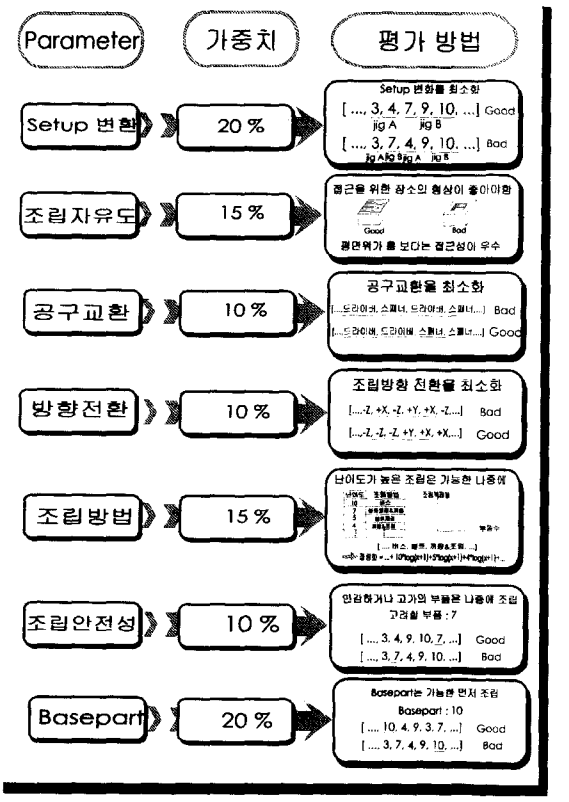


Fig. 5 Parameters and weight values for the selection of assembly sequence

조립에서 간접시간의 비중을 줄이기 위해 한 Setup 내에서 같은 공구를 사용하는 공정과 동일한 방향의 공정들은 그룹화하는 것이 바람직하다. 조립생산성의 측면에서는 동일 공구로 서로 다른 각 방향의 조립을 수행한 후 공구를 교환하는 것이 생산성의 향상에 도움이 되었다. 변환의 횟수가 적은 조립순서가 우선적으로 선택되었다.

조립방법은 부품의 형상과 접합의 종류에 의

해서 결정된다[9, 10]. 이와 관련하여 조립방법과 조립순서 사이의 상관관계를 조사하였다. 기술적으로는 접합에 요구되는 힘과 조립공정에서 요하는 작업상의 까다로움으로 평가되는 조립의 난이도에 따라 수행되었다. 즉, 일반적으로 조립난이도가 낮은 조립방법에서 높은 방향으로 진행되었다. 경제적인 측면에서는 분리 불가능한 조립방법은 가능한 것보다 먼저 수행된다. 왜냐하면 조립이 잘못된 경우에도 최소한의 조립만 수행되었기 때문에 그 만큼 재료의 손실을 줄일 수 있다. 다만 용접의 경우에는 열로 인해 조립물의 변형을 초래하므로 조립의 지속적인 진행을 위해 나중에 행해진다. 실험결과에 따르면 조립시 많은 부품들이 이미 조립되어 있을 경우 전체의 부피가 커지고 공차누적 등으로 공차관리가 힘들어진다. 그리고 조립시 발생할 수 있는 사고로 인한 손실에 대해서도 초기에 발생하는 경우보다도 조립이 상당히 진행된 이후가 비용적인 측면에서 더 큰 영향을 미친다. 그러므로 실제 현장에서 보고된 경험적인 데이터에서 볼 때 조립된 부품의 수가 증가할수록 나중에 조립되는 부품의 조립은 까다로워지는 것으로 나타났다. 이것으로 인해 난이한 조립방법이 뒤로 가면 갈수록 조립순서는 더 나빠지게 된다.

조립안전성은 가능한 대칭적인 안정된 구조하에서 조립이 진행되도록 하여야 하며 민감하거나 고가의 부품은 파손방지를 위해 나중에 조립하는 것이 바람직하다. 그러므로 이런 것들이 가능한 뒤에 조립되는 순서를 선택하게 한다.

조사결과에 따르면 Basepart 는 다른 부품들을 수용하는 능력이 있으므로 조립순서상 가능한 우선적으로 조립되는 것이 바람직하다.

위에 소개된 각각의 요소들은 조립순서 결정에 있어서 고유한 성질을 갖으므로 Knowledge-Base 나 ***IF-THEN*** 의 법칙으로 형상화시켜 전문가 시스템을 구축하여 전체 조립의 난이도를 판단하는데 이용되도록 하였다. 각각의 요소들은 개별적으로 평가가 이루어지며 여기에 조립특성상의 가중치를 곱하여 최종적으로 정량화 한다.

2.5.2 조립순서 선정을 위한 Algorithm

제품의 설계정보에서 얻은 부품에 대한 무게, 크기 등과 같은 특성 정보와 분해작업을 통해서 획득한 방향전환, 사용공구, 안전도와 같은 조립정보들은 지금까지의 과정을 거쳐서 이미 Database 에 모두 저장이 되어 있는 상태이다. 또한 Sub-assembly 정보도 이미 저장되어 있다. 전문가 시스템의 판단은 Database 의 내용에 근거하여 수행되며 가능한 모든 조립순서들 중에서 최적의 조립순서를 결정해 가는 절차를 Fig. 6 에 나타내었다.

시스템은 우선 앞절에서 생성된 가능한 조립순서를 입력받는다. 그리고 가장 가중치가 높은 요소들(Parameters)부터 시작해서 모든 요소들에 대해서 각각 독립적인 기준으로 조립순서를 앞절의 Fig. 5 에서 설명한 평가기준을 이용하여 평가한다.

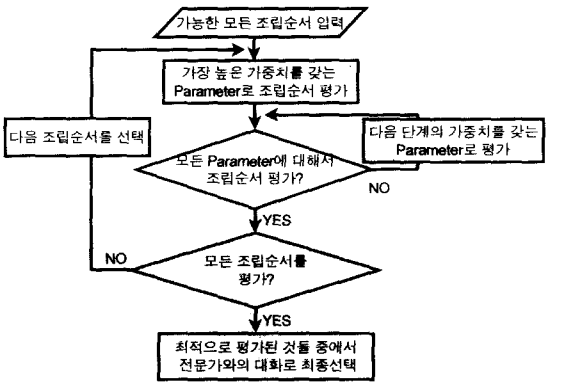


Fig. 6 Algorithm for the selection of assembly sequence

평가는 조립순서들이 갖는 각 요소들의 정보, 예를 들면 Setup 변환 횟수에 의해 최소값과 최대값을 정하고, 이에 기준하여 대상 조립순서의 값을 산정함으로써 이루어진다. 주어진 조립순서에 대한 점수는 각 평가요소의 최대·최소값과 비교하여 점수를 산정하고, 이 값에 정해진 가중치를 곱하여 전 요소에 대하여 이 과정을 반복함으로써 얻어진다. 하나의 조립순서에 대해서 평가가 끝나면 다음 조립순서를 입력받고 위의 과정을 수행하여서 계속 평가해 나간다.

모든 조립순서에 대해서 평가가 끝나면 결과를 종합하여서 가장 높은 평점의 결과부터 차례대로 보여준다. 이 결과에 대한 최종 결정은 조립과제의 성격, 현장의 작업방법 및 조립시스템 등 현장 특수상황을 고려하여 전문가와의 대화를 통해 이루어지게 하였다.

3. 응용사례

개발된 시스템의 절차대로 최적의 해를 선정하는 과정을 조립식 건축용인 UBR(Unit Bath Room)에 적용시켜 보았다. 이를 통해서 시스템에서 소개되고 있는 여러 가지 방법론을 적용 및 검증하고, 그들의 규칙들과 평가 요소들에 대한 영향을 알아 보고자 하였다.

UBR 은 대상 기업의 분류기준에 따라 기초적인 골격에 해당되는 1 차 부품과 내부 기능부품인 2 차 부품으로 구성이 된다. 본 응용사례에서는 UBR 의 부품들 중 2 차 부품을 대상으로 하였다. 2 차 부품은 모두 17 개로 구성이 된다. 관련되는 부품들은 CAD Model 의 형태로 모기업으로부터 제공을 받는다. 우선 각각의 부품들 상호간의 연결관계와 제품정보를 파악하여 DB 에 저장한다. 이 과정은 최종 제품의 CAD Model 과 설계정보를 분석함으로써 이루어 진다. 다음의 Fig. 7 에 데이터를 획득하는 과정을 보였다.

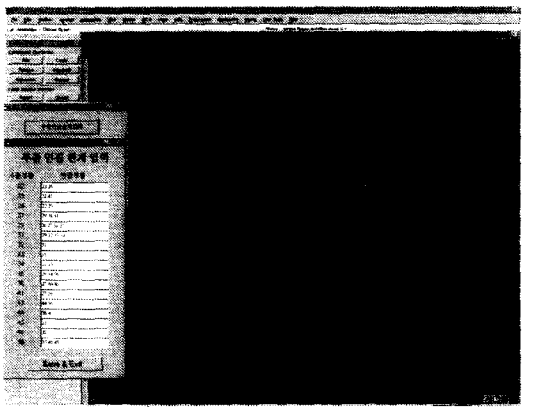


Fig. 7 Contact relationship acquirement

앞서 기술한 입력정보를 바탕으로 Sub-assembly 생성 Tool 을 이용하여 Sub-assembly 를 생성한다. Basepart 의 결정은 UBR 의 경우 공간적인 제약이 크므로 연결부품수 보다는 부품의 무게와 크기에 더 큰 비중을 두어서 하는 것이 바람직하다. 이와 같은 기준으로 Basepart 로 결정된 욕조는 1 차 부품, 벽면 등의 사전 조립으로 접촉수가 다소 줄어들기는 하였지만 UBR 의 조립과제 특성을 고려하여볼 때 크기나 무게 면에서 적합하였다. 다음의 Fig. 8 에 생성 Tool 을 이용하여 주어진 부품번호의 형태로 표현된 Sub-assembly 생성 결과를 보였다. UBR 의 경우에는 부품들 상호간의 결합관계가 긴밀하기 때문에 많은 수의 Sub-assembly 가 생성되지는 않았다.

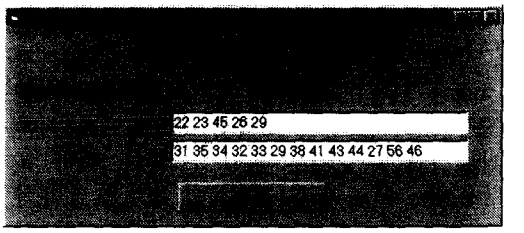


Fig. 8 Result of sub-assembly generation

다음 과정은 생성된 Sub-assembly 를 단위로 하여 분해작업을 수행하는 것이다. 이 작업은 개발된 시스템에서 UG Assembly Module 을 소환하여 이의 도움으로 수행되며, 결과는 바로 DB 에 저장이 된다. 이때 Fig. 3 에서 소개된 다양한 분해규칙들이 이용되게 된다. 그리고 이 과정에서 조립방향, 조립자유도, Setup 의 변환여부 등의 정보가 얻어지며, 이는 역시 DB 에 저장되어 최종적인 조립순서의 평가 단계에서 이용된다. 다음 Fig. 9 에 분해과정을 보였다.

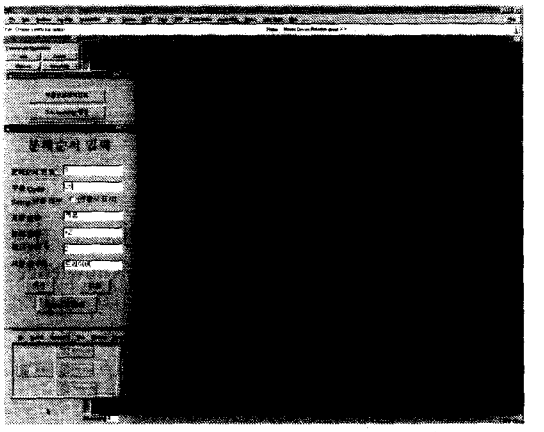


Fig. 9 Disassembly process of the sub-assembly

다음 단계로는 Sub-assembly 의 조립순서를 조합하여 가능한 모든 조립순서를 생성하여야 한다. 이 과정에서는 공통 부품을 중심으로 하여 가능한 모든 조립순서를 생성한다. 2 차 부품의 모든 조립

순서를 생성한 결과는 다음과 같다(Fig. 10).

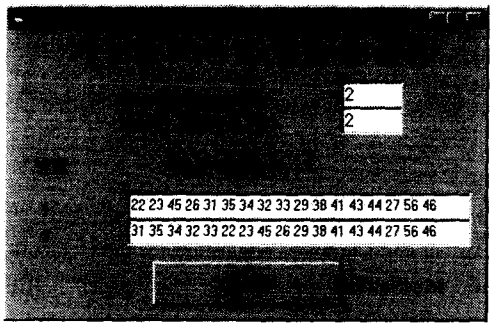
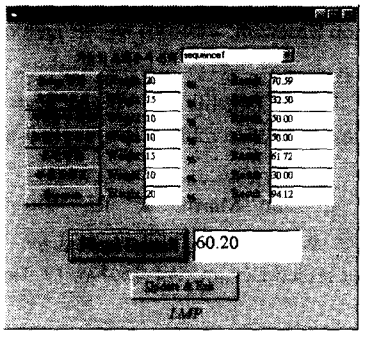
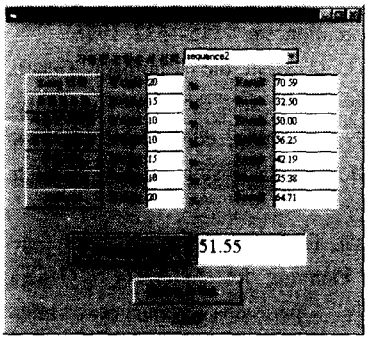


Fig. 10 Feasible assembly sequences

마지막 단계로는 Fig. 10 에 보인 결과를 입력정보로 하여 최종적으로 개발된 시스템에서는 여러 가지 판단을 위한 지식들을 이용하여 최적의 조립순서를 찾아내게 된다. 두개의 가능한 조립순서를 평가한 최종적인 결과는 다음의 Fig. 11 과 같다.



(a) Feasible sequence 1

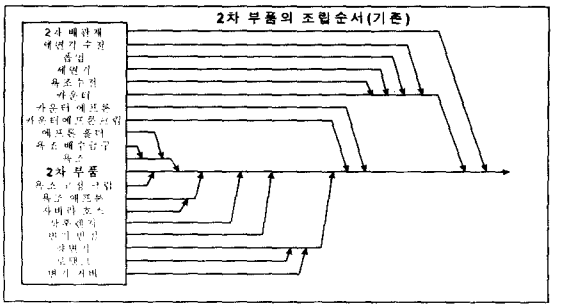


(b) Feasible sequence 2

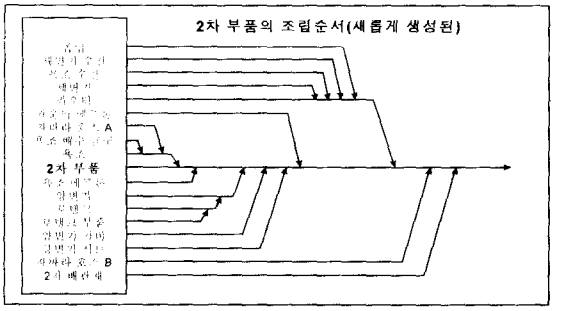
Fig. 11 Results of assembly sequence evaluation

결과에서 보듯이 조립순서 1 의 경우가 2 의 경우보다 높은 점수를 받았음을 알 수 있다. 내용을 살펴보면 조립방법의 난이도, Basepart 의 위치, 부품의 안전도 측면에서 가능해 1 이 우수하였으며, 조립방향 전환의 측면에서는 가능해 2 가 더 높았다. 사용공구는 종류가 많지 않았으며 조립순서에 따라서도 차이가 없었다. 조립자유도를 보면 UBR 부품의 결합부위가 공간적인 여유가 충분하였기 때문에 다른 부품들에게 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 마지막으로 조립순서의 변경에 따라서 추가적인 Setup 의 변환은 발생하지 않았으므로 양쪽의 결과가 같았다.

이와 같은 과정으로 본 시스템을 통해서 생성된 조립순서와 기존의 경험에 따른 시방서를 비교해 보았다(Fig. 12).



(a) Conventional sequence



(b) Generated sequence

Fig. 12 Comparison of the conventional sequence with the generated sequence

Fig. 12 의 작업 순서도에서 자바라 호스는 1 개의 호스이지만 조립의 특성상 두 부분에서 서로 다른 시점에서 작업이 일어나므로 새롭게 생성된 조립순서에서는 처음부터 A, B 두개로 구분을 하여서 조립순서를 생성하였다. 싱글 노드(Single

Node)로 볼 수 있는 상 후렌지, 욕조 고정크립, 변기받침은 분석결과 조립순서의 변화에 영향을 주지 않으므로 1 차 부품의 조립시에 사전 조립품으로 같이 처리하도록 제안하였다. 전체적으로 두 조립순서가 상당히 유사한 면이 있음을 알 수 있다. 이를 통해 개발된 시스템이 기존 전문가의 많은 지식을 활용하여 생성하였음을 입증할 수 있다. 그리고 작은 부품들이 사전에 자신이 포함되는 상위 부품에 사전 조립된 다음에 다음 조립이 이루어 지도록 하였다. 이는 실제 작업에서 편의성을 제공했다. 또한 사용되는 공구의 교환이나 조립방향변환의 측면에서 횟수를 줄이므로 시간의 단축을 기할 수 있었다.

4. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 최적의 조립순서를 결정하기 위하여 요구되는 조립의 난이도 및 경제성의 평가에 이용되는 요소들을 다양한 조립공정의 분석을 통하여 유도하였다. 이들을 가지고 많은 대체해들 가운데에서 최적의 해를 선정하는 시스템을 구축하여 현장전문가와 차이가 없는 결과를 제공함으로써 조립 계획에 도움을 주고자 하였다.

개발된 시스템을 UBR(Unit Bath Room)의 조립과제에 적용하여봄으로써 시스템의 성능을 검증하였다. 이를 통해서 현장 적용에 우수한 조립순서를 생성함을 알 수 있었고 이와 더불어 다음과 같은 이점이 있었다. 첫째, 현장 전문가의 폭 넓은 경험과 지식을 이용할 수 있었다. 둘째, 부품의 연결정보로부터 자동적으로 Sub-assembly 를 생성하였다. 셋째, 분해작업을 통해서 고려하기 힘들었던 방향전환, Setup 변환 등의 정보를 조립순서 평가에 사용하여 효율적인 시스템이 되도록 하였으며, 복잡한 기하학적 및 접촉구속 조건기술 작업을 피할 수 있었다. 넷째, Sub-assembly 단위의 분해방법 사용으로 작업을 단순화시킴으로써 부품수가 많은 제품에 대해서도 효율적으로 대처할 수 있었다. 마지막으로 조립순서의 사전 제안으로 현장의 장비 활용성, Setup 변환 비용, 조립 비용 감소 등의 측면에서 문제가 되는 것의 개선을 추구하고 나아가 조립 지향적인 구조의 제안에도 도움을 줄 수 있다.

향후 CAD 데이터에서 Feature 의 직접 응용 방안과 분해법칙을 풍부하게 함으로써 조립순서 생성에 있어 자동화율 향상에 노력을 기울여야 할 것이다. 그리고 최적 조립순서의 평가를 위한 다양한 요소(Parameter)들의 개발과 정량화 방안에 대해서도 추가적인 연구로 해의 정확성을 좀더 향상시키고자 한다.

참고문헌

1. Homem de Mello, L. S. and Sanderson, A. C., "A Correct and Complete Algorithm for the Generation of Mechanical Assembly Sequence," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 7, No. 2, April 1991.
2. Romney, B., Godard, C., Goldwasser, M. and Ramkumar, G., "An Efficient System for Geometric Assembly Sequence Generation and Evaluation," Proc. ASME. Int. Computers in Engineering Conf., pp. 699-712, 1995.
3. GU, P. and YAN, X., " CAD-directed automatic assembly sequence planning," Int. journal of Production Research, VOL.33, No.11, pp3069-3100, 1995.
4. Qian, W. H. and Pagello, E., "On the Scenario and Heuristics of Disassembly," IEEE, 1050-4729/94, 1994.
5. Beasley, D. and Martin, R. R., "Disassembly Sequences for Objects Built from Unit Cubes," Computer Aided Design, Vol. 25, No. 12, December 1993.
6. Jones, R. E. and Wilson, R. H., "A Survey of Constraints in Automated Assembly Planning ," Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1525-1532, 1996.
7. Wolter, J. D., "On the Automatic Generation of Assembly Plans," in Computer- Aided Mechanical Assembly Planning, edited by L. S. Homem de Mello and S. Lee, Boston: Kluwer Academic Pub, pp 263-288, 1991.
8. Ben-Arieh, D. and Kramer, B., "Computer-Aided Process Planning for Assembly : Generation of Assembly Operations Sequence," International Journal of Production Research, Vol. 32, No. 3, p.p. 643-656, 1994.
9. Ben-Arieh, D., "A methodology for analysis of

assembly operations' difficulty," Int. journal of Production Research, VOL.32, No.8, pp1879-1895, 1994.

10. Tönshoff, H. K., Menzel, E. and Park , H. S., "A Knowledge-Based System for Automated Assembly Planning," Annals of the CIRP Vol. 41/1/1992.