

## 동시공학에서의 조립을 위한 설계(DFA) 지원 시스템 개발

목학수<sup>#</sup>, 조종래<sup>\*</sup>, 문광섭<sup>\*\*</sup>, 정용호<sup>\*\*\*</sup>, 황용우<sup>\*\*\*\*</sup>

### Development of Support System of Design for Assembly (DFA) in Concurrent Engineering

Hak Soo Mok<sup>#</sup>, Jong Rae Cho<sup>\*</sup>, Kwang Sup Moon<sup>\*\*</sup>, Yoong Ho Jung<sup>\*\*\*</sup>, Yong Woo Hwang<sup>\*\*\*\*</sup>

#### ABSTRACT

This paper presents a new DFA methodology to estimate the standard assembly time and evaluate the assemblability of a product. The assembly time is estimated with some decision and influencing factors of assembly using motion analysis. The assemblability is evaluated using weights of the decision and influencing factors and assembly difficulty scores, and the tables that include the time and score of assembly are suggested. Finally, a new DFA system supporting the DFA is implemented to help designers to analyze the product during the design process in concurrent engineering.

**Key Words** : DFA (조립을 위한 설계), Assembly time (조립시간), Assemblability (조립용이성), DFA system(조립을 위한 설계 시스템)

#### 1. 서론

제품에 대한 고객의 요구가 다양해짐에 따라 많은 고객을 만족시킬 수 있는 다품종 소량생산의 필요성이 증가하게 되었다. 따라서 제품을 생산하는 기업으로 하여금 다양한 제품을 생산하게 하여 생산 비용 증가를 초래하였다. 조립을 위한 설계(DFA: Design for Assembly)는 이러한 환경 변화에서 동시공학(Concurrent engineering)적 개념을 사용하여 설계 단계에서 제품 생산의 마지막 단계인 조립공정에서 최소의 부품으로 요구되는 제품 기능을 발휘하면서 조립시간과 비용을 줄이

고 조립용이성을 높이는 방법론이다<sup>1</sup>.

즉, Fig. 1 과 같이 제품의 수명주기(Life cycle)가 짧아지는데 비해서 제품 개발기간이 늘어나고 제품의 다양성이 증가하는 시점에서, 조립을 위한 설계는 개발기간과 다양성을 줄이고 생산비용 및 시간을 절약하며 재설계 가이드라인을 제시하여 새로운 설계를 실현할 수 있는 방법이다.

조립을 위한 설계는 60 년대 GE 에 의해 제품 설계를 위한 가이드라인이 개발되면서 시작되었고 70 년대 일본의 Hitachi 의 AEM 과 같이 자동 조립 용이화를 위한 시스템적 절차가 개발되었다. 80 년대에 Boothroyd 와 Dewhurst<sup>2</sup> 가 이론적 최소 부품

☞ 2002 년 11 월 15 일 접수  
# 교신저자, 부산대학교 산업공학과  
Email : hsmok@pusan.ac.kr, Tel : (051) 510-2426  
\* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소  
\*\* 영산대학교, 정보경영학부  
\*\*\* 부산대학교, ERC/NSDM  
\*\*\*\* 인하대학교, 지구환경공학부

수, 실제 조립시간 추정, 조립 어려움 파악, 조립 비용 평가 등의 구체적인 조립용이성 평가시스템을 개발하였다. 90년대 들어서는 Lucas 가 조립비용 절감과 부품 수 감소를 강조하는 조립용이성 평가방법을 제시하였고, Evershein 과 Baumann 은 CAD 의 형상정보를 DFA 에 이용하였다. 그러나 평가방법 중에서 Hitachi 의 AEM 은 조립용이성 평가 점수와 조립비용 비율을 부여할 때 정확한 기준이 없어서 주관에 너무 의존하고, Boothroyd 의 경우에는 결정요소의 수가 적으며 영향요소의 기준이 모호하고 정확하게 도출되지 못하였다.

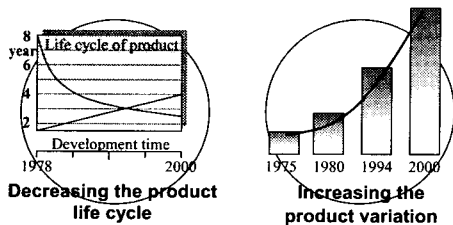


Fig. 1 Necessity of research

따라서, 본 연구에서는 결정요소와 영향요소를 구체적으로 도출하여 정확하고 기존 연구보다 많은 시간 및 용이성 점수 테이블을 작성하였다. 그리하여 평가자가 적은 노력과 시간으로 설계단계에서 미리 생산하고자 하는 제품의 조립시간을 산정하고 조립용이성을 평가할 수 있는 새로운 방법론을 제시하고 사용자 중심의 시스템을 개발하고자 한다.

## 2. 조립을 위한 설계 평가 방법론

설계단계에서 조립되는 제품의 조립시간과 조립용이성을 평가하기 위해서는 먼저 조립되는 대상, 조립공정, 조립을 수행하는 조립수행체의 분석이 이루어져야 한다<sup>3, 4</sup>. 그 이유는 이러한 분석에 의해서 제품의 기하학적 정보와 공정 정보를 바탕으로 하여 조립의 결정요소와 영향요소를 도출하기 때문이다. Fig. 2 는 조립대상, 공정, 수행체의 구체적인 분석 범위를 보여주고 있다.

### 2.1 DFA 의 Flowchart

본 연구에서는 Fig. 3 과 같이 조립을 결정하는 요소를 취급(Handling), 접근(Access), 체결(Insertion)

의 세 요소로 나누었다<sup>5</sup>. 이는 조립은 체결되는 부품, 조립군 혹은 체결요소를 취급하여 체결점으로 접근한 후 체결된다는 것을 의미한다.

다음으로 각 결정요소에 세부 영향요소를 도출하고 등급별로 분류한다. 이러한 결정요소별 영향요소와 등급을 사용하여 조립시간을 산정하고 조립용이성을 평가하는 알고리즘과 방법론이 개발된다. 알고리즘에 의해 결정요소별 시간 및 조립용이성 점수 테이블이 작성이 되며, 총 조립시간은 테이블에 의해서 결정요소들의 시간의 합으로 산정되고 총 조립용이성은 각 부품의 결정요소별 용이성 정도의 합으로 계산된다.




<b>Objects</b>	<b>Characteristics of assembly object</b>
	- Assembly objects: Part, Subassembly, Fastener - Geometric characteristics (Size, Weight, Shape...) - Other characteristics (Symmetry, Stability...)
<b>Processes</b>	<b>Characteristics of assembly process</b>
	- Assembly process: Assembly function and method - Process characteristics related with assembly - Assembly environment analysis
<b>Assembler</b>	<b>Characteristics of assembler</b>
	- Assembler: Auxiliary tools, Machines, Jig & Fixture - Variety and number of assembler - Assembly environment analysis

Fig. 2 Analysis of objects, processes, assembler

### 2.2 결정요소별 영향요소의 도출

각 결정요소별 세부 영향요소를 도출하고 등급을 나누는 이유는 이러한 영향요소들과 그 등급에 의해서 각 부품들의 조립시간과 조립용이성을 구할 수 있는 테이블이 만들어지기 때문이다.

조립 결정요소 취급, 접근, 체결의 각 영향요소는 Fig. 3 의 Flowchart 에 보여지고 있다. 취급의 영향요소로는 놓임안정성(Placement stability), 엉킴성(Nesting), 크기(Size), 두께(Thickness), 무게(Weight), 대칭성(Symmetry), 부가적 어려움(Additional difficulties)이 도출되었고, 접근의 경우에는 시각성(Visibility), 접근방향(Access direction), 작업영역(Working area), 대칭성 등이 도출되었다. 결정요소 체결의 경우 조립방법에 따라서 영향요소가 도출되었으며, Fig. 3 에서는 나사조립(Bolting)의 영향요소인 작업영역, 시각성, 조립안정성(Assembly stability), 조립방향, 저항(Resistance) 등을 보여주고 있다.

일반적으로 영향요소는 크게 정성적(Qualitative)인 요소와 정량적(Quantitative)인 요소로 나눌 수 있다<sup>5</sup>. 크기, 두께, 무게 등은 정량적인 요소이며 작업영역, 시각성 등은 정성적인 요소이다. 정량적인 요소의 경우에는 그 정의가 명확하며 등급도 정량적 값의 간격으로 쉽게 나눌 수 있지만, 정성적인 요소의 경우에는 그 정의와 등급을 정의해야만 한다.

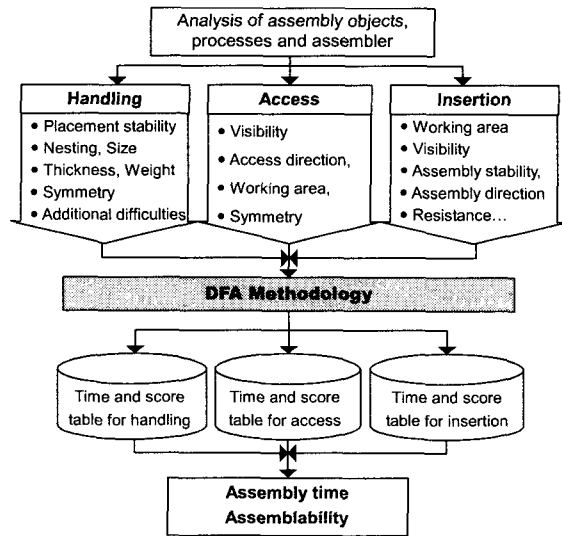


Fig. 3 Flowchart for DFA

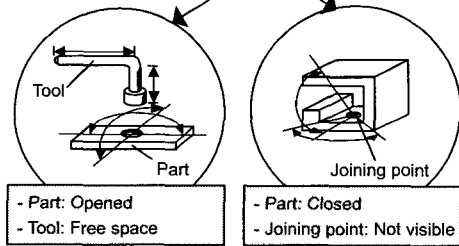
예를 들면, 작업영역이 '좋음(Good)'은 손과 공구(Tool)를 사용할 때 작업자가 결합력을 주기가 쉽거나 제약이 거의 없는 경우를 말하고, '나쁨'은 작업공간이 매우 협소하고 장애물이 있어서 특정 형태의 공구만 사용가능 하거나 작업 시 어려움이 많은 경우로 정의된다.

Table 1 은 가중치가 0.63 인 결정요소 체결에서 조립방법이 나사조립(Bolting)인 경우의 영향요소와 그 등급 분류의 예를 보여주고 있다. Table 1 에서 결정요소와 영향요소의 가중치는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 이용하여 구하였다<sup>6</sup>. 그리고, 레벨별로 어려움 점수(Difficulty score)를 1 부터 9 까지 1(Good), 3(Not bad), 5(Not good), 7(Bad), 9(Absolute bad)의 다섯 구간으로 분류하였다. 그 이유는 이 스케일이 실제값과 추정치의 상관계수(Correlation coefficient)가 가장 큰 것으로 많은 실험에서 증명되었기 때문이다<sup>7</sup>. 그리고, 그 값을

영향요소의 등급에 따라 그 중요도에 맞추어 부여하였다. 예로 체결저항과 작업영역의 등급은 같지만 어려움 점수는 1, 5 와 1, 7로 다르게 주어졌다. 이것은 작업영역의 2 등급이 체결저항의 2 등급보다 더 많이 조립에 영향을 미친다는 의미이다. 이러한 결정요소와 영향요소의 가중치와 점수에 의해서 조립용이성이 계산된다.

Table 1 Influencing factors and levels of bolting

Influencing factors	Level		
	1	2	3
<b>Insertion (0.63) - Bolting</b>			
Assembly stability (0.15)	Good (1)	Bad (7)	
Assembly direction (0.17)	Vertical (1)	Horizontal (5)	Combined (9)
Resistance (0.21)	No (1)	Yes (5)	
Working area (0.27)	Good (1)	Bad (7)	
Visibility (0.20)	Good (1)	Bad (7)	



### 2.3 동작분석을 통한 조립시간 산정

표준 조립 시간을 산정하기 위해서 본 연구에서는 동작분석 기법을 사용하였다. 그 세부 절차는 Fig. 4 와 같다.

이 절차는 먼저 MTM 과 WF 의 시간 테이블을 사용하여 시간을 산정함으로써 객관성을 높이고, 포함되지 않은 영향요소는 조립 환경을 만들어서 실제 조립실험을 통하여 시간을 산정하여 보정하는 것이다. 동작분석은 PTS(Predetermined Time Standard) 법 중에서 MTM (Methods Time Measurement)법과 WF(Work Factor)법을 동시에 사용하였다. 기존 연구에서는 하나의 동작분석 기법만을 사용했지만 모든 작업을 표현하기에는 부족함이 있었다. 따라서 본 연구에서는 MTM 을 기초로 MTM 으로 정의되지 않는 기본동작을 WF 로 표현함으로써 더 정확한 결과를 도출할 수 있게 하였다. MTM 은 R(Reach), M(Move), T(Turn), AP(Apply Pressure), G(Grasp), P(Position), RL(Release Load), D(Disengage), ET(Eye Travel), EF(Eye Focus), BM(Body Motion)으로 구성되고, WF 는 T(Transport), PP(Pre-position), A

(Assemble), U(Use), D(Disassemble), MP(Mental Process) 등으로 구성된다<sup>8</sup>. 예를 들면, 나사조립의 기본동작은 볼트를 쳐다보고(ET), 손을 뻗어서(R), 볼트를 잡고(G), 체결점으로 이동하여(M), 손안에서 볼트를 고쳐잡고(PP), 체결하고(A), 돌리고(T), 마지막 힘을 가한 후(AP), 놓는 동작(RL)으로 분석된다.

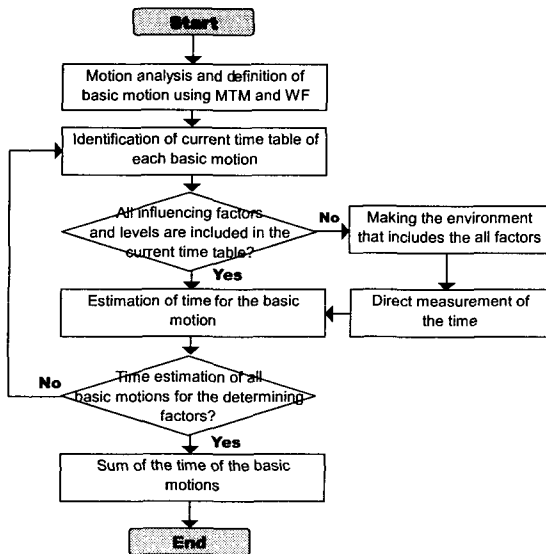


Fig. 4 Estimation of assembly time by motion analysis

### 2.3.1 표준 조립시간 및 용이성 산정 절차

Fig. 5 는 표준 조립시간을 구하기 위한 과정을 보여주고 있다.

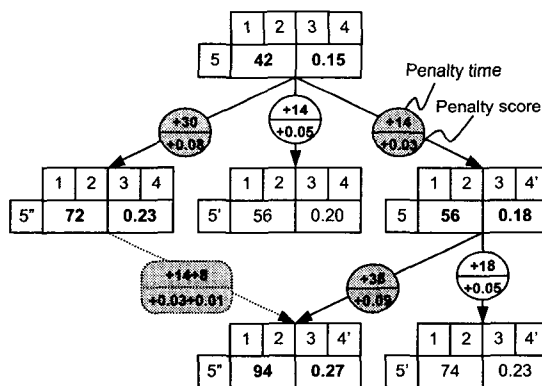


Fig. 5 Calculation process of assembly time and assemblability

만약 어떤 결정요소에 다섯 종류의 영향요소 1,2,3,4,5 가 있고 영향요소 4 는 4,4' 두 종류의 등급이 존재하고 영향요소 5 는 5,5',5'' 세 종류의 등급이 있다고 가정하자. 현재 다섯 종류의 영향요소의 등급이 모두 1 등급인 1,2,3,4,5 의 경우 그 시간은 42TMU 가 된다. 이 시간은 앞에서 설명한 동작분석 단계에 의해 결정된다. 영향요소 4 의 등급이 4 에서 4' 로 한 등급 떨어져서 1,2,3,4',5 로 바뀌었을 때 14TMU 의 페널티 시간이 추가되어서 총 시간이 56TMU 가 된다. 다시 여기서 영향요소 5 의 등급이 두 단계 떨어져서 5 에서 5'' 로 된 1,2,3,4',5'' 의 경우에는 페널티 시간 38TMU 가 추가되어서 94TMU 가 되는 것이다. 이 시간은 영향요소 4 와 5 의 등급이 각각 한 단계와 두 단계 떨어졌을 때의 페널티 시간 14TMU 과 30TMU 의 합 44TMU 보다 8TMU 의 시간이 더 걸린 것이다. 이것은 영향요소 4 와 5 가 동시에 떨어져서 1,2,3,4,5 에서 1,2,3,4',5'' 로 바뀌었을 때, 즉 두 가지의 영향요소가 복합적으로 떨어졌을 때는 하나씩 등급이 떨어졌을 때보다 시간이  $\alpha$ 만큼 더 걸림을 보여준다. 이러한 관계를 식 (1)에서 보여주고 있다.

$$T_{1,2,3,4',5''} = T_{1,2,3,4,5} + PT_{1,2,3,4,5 \rightarrow 1,2,3,4',5} + PT_{1,2,3,4',5 \rightarrow 1,2,3,4',5''} \quad (1)$$

$$= T_{1,2,3,4,5} + PT_{1,2,3,4,5 \rightarrow 1,2,3,4',5} + PT_{1,2,3,4,5 \rightarrow 1,2,3,4,5''} + \alpha$$

여기서,  $T_{1,2,3,4',5''}$  는 영향요소가 1,2,3,4,5 에서 1,2,3,4',5'' 로 바뀌었을 때의 분리시간을 나타내고  $PT_{1,2,3,4,5 \rightarrow 1,2,3,4',5}$  는 영향요소 4 가 4'로 한 등급 떨어졌을 때의 페널티 시간을 나타낸다. 조립용이성 점수는 결정요소의 가중치와 그 결정요소의 각 영향요소의 가중치, 그리고 Table 1 에서 제시된 영향요소의 등급에 따른 어려움 점수의 곱으로 미리 각 결정요소별 용이성을 구하여, 시간 테이블에 같이 결정한다. 즉, Fig. 5 에서와 같이 영향요소 1, 2, 3, 4, 5 의 용이성을 구한 후 등급이 떨어짐에 따라 페널티 점수를 부여하는 방법이다. 식 (2)는 각 부품의 용이성을 구하는 식이다.

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_i w_j s_j \quad (2)$$

여기서,  $w_i$  는 결정요소  $i$  의 가중치를 나타내

고,  $w_j$  는 영향요소  $j$  의 가중치를 나타낸다.  $s_j$  는 등급에 따른 영향요소  $j$  의 어려움 점수를 나타낸다. 이렇게 시간과 함께 테이블에 미리 결정된 용이성 점수는 사용자로 하여금 입력정보를 줄여서 쉽게 계산이 가능하도록 하며, 나중에 시스템 구축도 용이하게 한다.

조립용이성을 구하는 이러한 과정은 가중치를 구할 때와 마찬가지로 기본적으로 AHP 의 과정을 따른다. AHP 는 여러 평가기준을 사용하여 어떤 대안들을 평가할 때 많이 쓰이는 방법이나 본 연구에서와 같이 기준과 그 가중치와 어려움 점수를 가지고 결과를 도출하고자 할 때에도 좋은 방법이다.

### 2.3.2 조립시간 및 조립용이성 테이블 작성

본 연구에서는 조립의 각 결정요소별로 시간과 용이성 점수를 포함하는 테이블을 미리 결정하여 제시하였다. 이렇게 미리 결정된 테이블을 보

면서 각 부품의 영향요소별 특성이 결정되면 그 부품의 조립시간과 조립용이성이 동시에 결정될 수 있다.

이러한 테이블은 취급과 접근은 모든 조립방법에 공통으로 사용되고 조립방법에 따라서 테이블이 작성되어 체결방법이 결정되면 해당 테이블을 찾아서 전체적인 시간 및 용이성을 구하게 된다.

Fig. 6 은 결정요소 체결 중에서 조립방법이 각각 묶기(Tying), 도장(Painting), 스냅체결(Snapping)의 시간 및 용이성 점수 테이블을 나타내고 있다.

예를 들면, 묶기의 경우 영향요소가 작업영역, 묶는 소재, 묶기의 형태, 묶을 때 부품의 고정 여부 등이며 동작분석과 용이성 점수 산정식에 의해서 시간 및 용이성 점수가 제시되었다. 테이블에서 편의를 위해서 코드를 부여했으며, 위의 값이 TMU 단위의 시간을 나타내고 밑의 값이 용이성 점수를 나타낸다.

Time and score table for <b>tying</b>	Material of tying: Flexible (Rubber...)				Material of tying: Rigid (Steel...)			
	Type of tying: Simple		Type of tying: Complex		Type of tying: Simple		Type of tying: Complex	
	Fixing: Yes	Fixing: No (Support)	Fixing: Yes	Fixing: No (Support)	Fixing: Yes	Fixing: No (Support)	Fixing: Yes	Fixing: No (Support)
	0	1	2	3	4	5	6	7
Working area: Good	110	148	264	300	166	198	334	390
	0.63	0.78	1.99	2.14	1.54	1.69	2.90	3.05
Working area: Bad	144	192	342	376	210	252	416	480
	1.69	1.84	3.05	3.20	2.60	2.75	3.96	4.11

Time and score table for <b>painting</b>	Precaution for other part: Not needed				Precaution for other part: Needed			
	Hole, Slot: Not existed		Hole, Slot: Existed		Hole, Slot: Not existed		Hole, Slot: Existed	
	Shape: Simple	Shape: Complex	Shape: Simple	Shape: Complex	Shape: Simple	Shape: Complex	Shape: Simple	Shape: Complex
	0	1	2	3	4	5	6	7
Working area: Good	180	220	246	270	264	294	316	348
	0.63	1.23	1.27	1.88	1.51	2.12	2.15	2.76
Working area: Bad	258	300	348	386	380	422	480	548
	1.23	1.84	1.88	2.48	2.12	2.72	2.76	3.36

Time and score table for <b>Snapping</b>	Need other force to other part for fitting: No				Need other force to other part for fitting: Yes			
	Orientation, Alignment: Good		Orientation, Alignment: Bad		Orientation, Alignment: Good		Orientation, Alignment: Bad	
	Small resistance	Large resistance	Small resistance	Large resistance	Small resistance	Large resistance	Small resistance	Large resistance
	0	1	2	3	4	5	6	7
Working area: Good	40	52	72	90	60	78	96	116
	0.63	1.21	2.14	2.72	1.01	1.59	2.52	3.10
Working area: Bad	60	74	98	120	82	104	130	156
	1.18	1.76	2.70	3.28	1.56	2.14	3.07	3.65

Fig. 6 Example of tables for DFA

### 3. 조립을 위한 설계 지원 시스템 개발

설계자에게 효율적인 조립시간 산정과 조립용 이성 평가를 위하여 조립을 위한 설계 지원 시스템이 필요하게 되었다<sup>10</sup>. 시스템은 간단하고 쉽게 입력하여 평가가 되어야 하며 빠르게 결과를 평가자에게 보여줄 수 있어야 한다. 이러한 조립을 위한 설계 지원 시스템은 생산자와 설계자 모두에게 설계 단계에서 정확한 의사결정을 할 수 있도록 하는 주요한 의사소통 도구이다<sup>11</sup>.

본 연구에서는 입력정보를 최소로 하며 구체적인 데이터베이스를 이용하여 쉽고 빠르고 정확하게 평가할 수 있는 사용자 중심의 시스템을 개발하였다.

#### 3.1 DFA 지원 시스템의 개요

DFA 시스템은 크게 부품 기본정보입력, 테이블의 데이터베이스화, 결정요소별 입력, 결과출력등의 네 개의 서브 모듈로 구성되어 있다. Fig. 7 은 DFA 지원 시스템의 개요를 보여주고 있다.

DFA 시스템에서는 먼저 부품의 기본적인 정보를 입력하고 작성되어져 있는 테이블의 시간과 점수를 데이터베이스화하게 된다. 그런 다음, 해당 부품마다의 취급의 타입과 조립방법을 선택하고 각 영향요소별 등급을 결정하여 입력하게 된다. 그러면 부품의 해당 입력정보에 맞는 조립시간과 조립용이성 점수가 데이터베이스와 연결되어 결정

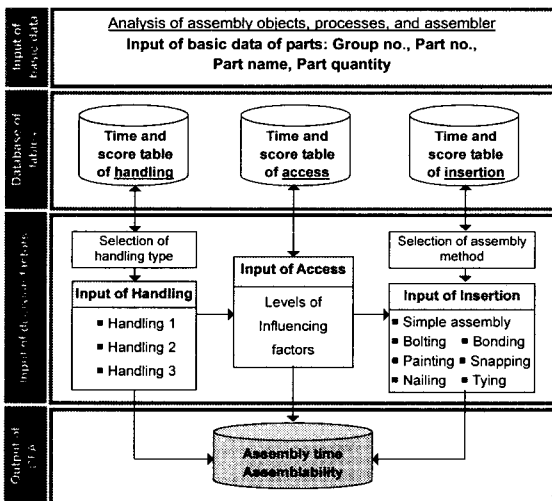


Fig. 7 Concept of DFA support system

되고, 부품의 총 조립 시간 및 점수가 출력되어진다.

#### 3.2 시간 및 점수 테이블의 데이터베이스화

결정요소별 테이블과 조립방법의 테이블을 데이터베이스화하기 위해서는 시간 및 점수 테이블에서의 영향요소와 등급을 코드화 시켜서 그 값들을 저장해 두어야 한다. 코드 자릿수는 각 테이블에서의 세부영향요소의 수만큼 정해진다. 이들 코드값들은 세부영향요소의 등급 수만큼 주어지며, 코드의 수는 영향요소와 등급 조합의 경우의 수만큼 결정되게 된다. 예를 들면 Fig. 6 의 스냅체결 테이블의 영향요소의 수가 네 가지이므로 코드 자릿수는 4 자리가 되고, 코드 값들은 등급 분류에 따라서 0, 1, 2 등으로 주어진다. 즉, 테이블에서 작업영역이 좋고(0), 고정을 위해서 다른 부품에 힘을 가할 필요가 없고(0), 정렬과 방향결정이 좋고(0), 결합저항이 큰 경우(1)의 코드값은 0001 으로 주어지게 된다.

Fig. 8 은 Fig. 6 의 묶기, 도장, 스냅체결 테이블의 데이터베이스로의 변환을 보여주고 있으며, 스냅체결의 시간 52 와 점수 1.21 이 데이터베이스에 0001 의 코드로 변환된 것을 보여주고 있다.

이렇게 테이블에서의 세부영향요소의 등급의 조합에 따른 조립시간과 조립용이성 점수는 데이터베이스에는 코드값에 따른 점수와 시간으로 저장되어지게 된다.

#### 3.3 데이터 입력

데이터 입력은 크게 기본정보 입력과 조립용 이성 평가입력 두 가지로 분류된다. Fig. 7 에서와

The screenshot shows a database interface with three tables:

- Ty Table:** Ty\_Code, Ty\_Time, Ty\_Score. Example: 0000, 110, 0.63.
- Pa Table:** Pa\_Code, Pa\_Time, Pa\_Score. Example: 0000, 180, 0.63.
- Sn Table:** Sn\_Code, Sn\_Time, Sn\_Score. Example: 0000, 49, 0.63; 0001, 52, 1.21.

Fig. 8 Example of database for assembly methods

같이 기본정보 입력창이 뜨면 그룹번호, 부품번호, 부품이름, 부품 수를 기입하게 되어있다.

그룹번호는 조립군 번호를 나타내는데 하나의 조립군에는 다수의 부품이 존재할 수 있으므로 몇 개의 부품이 같은 그룹번호를 가질 수가 있다. 부품번호는 평가의 편리를 위하여 부품마다에 부여된 번호를 나타낸다. 부품 수는 동일한 부품의 체결방법이 같은 부품의 수를 나타내는데, 주로 체결요소를 나타낼 때가 많으며 조립시간을 산정할 때 그 개수만큼 곱해지게 된다.

조립용이성 평가 입력창은 크게 취급(Handling), 접근(Access), 체결(Insertion)의 세 가지로 구성되어 있고, 취급과 체결 입력창은 해당 형태(Type)에 따라서 새로운 프레임이 생성되어지게 되어 있다.

취급의 입력화면에는 세 가지의 취급타입(Handling type)이 있는데, 취급 1 은 한 손으로 취급이 가능한 부품을 나타내고, 2는 영김성, 유연성 등 부품의 특성 때문에 두 손으로 취급하는 부품을 나타내며, 취급 3 는 크기, 무게 때문에 두 손으로 취급하는 부품을 나타낸다. Fig. 9는 세 가지 타입의 취급 입력화면 중에서 취급 3 의 입력화면을 보여주고 있다.

취급타입을 Combo 박스에서 선택을 하면 타입에 맞는 새로운 프레임이 생성되어지게 된다. 프레임에는 각 타입별로 영향요소와 그 등급이 있으며 선택을 하면 입력이 완료된다. 입력을 마치고 'OK' 버튼을 누르고 'NEXT' 버튼을 누르면 접근용이성에 대한 입력창이 나타나게 된다.

접근용이성 입력창도 접근용이성의 세부영향요소인 시각성(Visibility), 작업영역(Working area),

접근방향(Access direction), 대칭성(Symmetry)의 등급을 선택한다. 'OK'를 클릭하면 마지막 결정요소인 체결용이성의 입력창이 나타난다.

체결용이성의 세부영향요소는 체결방법마다 각기 다른 영향요소를 가지므로 'Selection of assembly method'의 Combo 박스에서 체결방법을 선택하면 해당 프레임이 나타나게 된다. 본 시스템에서는 7가지의 체결방법으로 구성되어 있다.

Fig. 10 은 나사체결(Bolting)의 입력화면을 보여주고 있다. 나사체결의 세부영향요소에는 작업영역, 조립방향, 조립 안정성(Assembly stability), 조립 저항(Assembly resistance)이 있으며 부품에 맞는 등급을 선택하게 된다. 조립 안정성은 조립 후에 조립된 부품이 고정되는지의 여부를 말하며 고정되어 있으면 'Good'을 선택한다. 조립저항은 나사체결 시 저항에 의한 체결력의 크기를 나타낸다.

체결까지 모든 결정요소의 영향요소와 그 등급을 입력하고 'OK' 버튼을 클릭하면 해당 부품의 결정요소별 시간과 총 조립시간, 해당 부품의 조립용이성 점수와 총 조립용이성 점수가 데이터베이스와 연결되어서 자동으로 계산되어 결과화면에 나타나게 된다.

### 3.4 조립용이성 평가 결과

데이터 입력 결과 조립시간과 조립용이성 점수 결과가 결정된다. Fig. 11 의 (a)는 부품별 조립시간 결과를 그래프와 시트(Worksheet)의 형태로 보여주고 있다. 그래프의 종류는 막대그래프와 꺾은선그래프, 원분포도로 나타낼 수 있다. 그래프의 세로축은 조립시간(단위:초)을 나타내고 가로축은

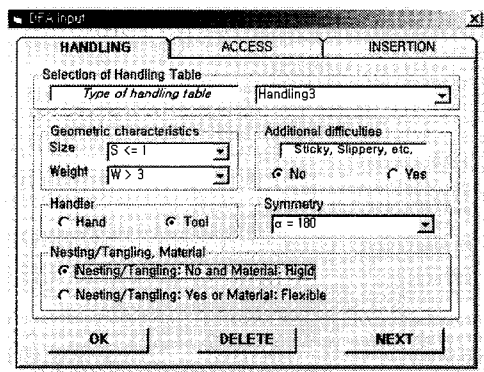


Fig. 9 Input form of handling 3

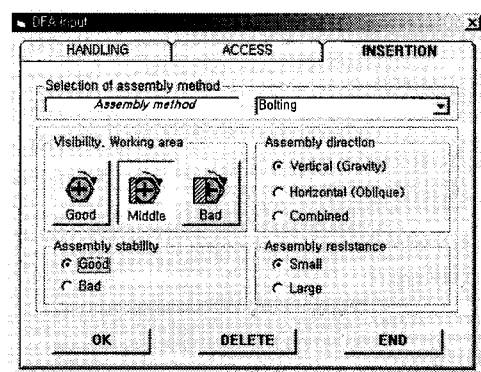
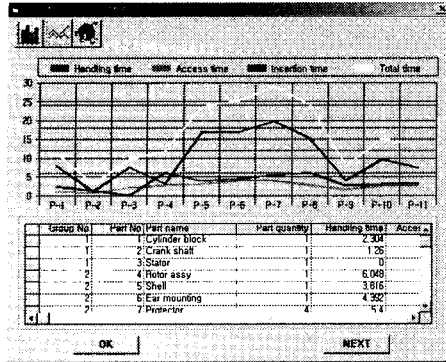
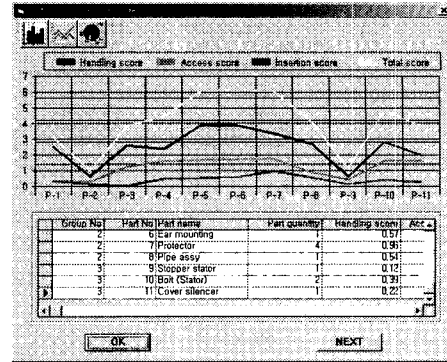


Fig. 10 Input form of bolting



(a)



(b)

Fig. 11 Output form of assembly time and difficulty score

부품 번호를 나타낸다. 그래프는 취급시간, 접근시간, 체결시간 그리고 총 조립시간으로 구분하여 나타나 있다. 그래프 밑의 시트에는 부품 기본정보와 부품별 취급시간, 접근시간, 체결시간의 결정요소 시간과 결정요소의 시간의 합인 총 조립시간이 보여진다. Fig. 11의 (b)는 부품별 조립용이성 평가 결과를 결정요소별로 그래프와 표로 보여주고 있다.

### 3.5 데이터 관리 및 출력화면

Fig. 12는 부품별 조립시간 결과에서 특정 부품을 찾기, 삭제할 수 있는 데이터 관리 화면을 나타내고 있다. 관리 화면에는 결정요소별 조립시간과 총 조립시간 있으며, 데이터의 삭제, 검색 등의 데이터 관리를 할 수 있도록 되어 있다.

그룹번호와 부품번호에 찾거나 삭제하려고 하

는 그룹번호나 부품번호를 기입하여 ‘찾기(Search)’나 ‘삭제>Delete)’를 클릭하면 해당 그룹이나 부품을 찾거나 삭제할 수 있다. 또, 그룹번호로 찾기를 하여 해당 조립군의 부품들의 전반적인 조립시간을 분석할 수 있다. ‘모두보기(View all)’ 버튼은 찾거나 삭제 후에 다시 모든 부품 정보를 보고자 할 경우 사용된다. ‘조합찾기(Combi Search)’와 ‘조합지움(Combi Delete)’은 그룹번호와 부품번호를 동시에 기입하여 해당되는 부품을 찾거나 삭제할 때 사용된다. 데이터 관리화면은 조립용이성 평가 결과를 관리할 수 있는 화면이 하나 더 존재한다.

Fig. 13은 부품별 조립시간 대한 결과의 출력 화면을 보여준다. 인쇄 화면의 내용은 입력된 부품의 기본 정보와 입력된 결정요소별 시간과 부품별 총 조립시간, 입력된 결정요소별 조립어려움 점수와 부품별 총 조립어려움 점수를 나타낸다.

Group No	Part No	Part name	Part quantity	Handling time	Access time	Ins
1	1	Cylinder block	1	2,304	1.08	
1	2	Crank shaft	1	1,26	0.72	
1	3	Stator	1	0	2,088	
1	4	Rotor assy	1	6,048	2,736	
2	5	Shell	1	3,816	3,024	
2	6	Ear mounting	1	4,392	3,96	
2	7	Protector	4	5,4	3,96	
2	8	Pipe assy	1	6,12	2,736	
3	9	Stopper stator	1	2,52	1,512	
3	10	Boh (Stator)	2	3,024	2,592	
3	11	Cover silencer	1	3,384	2,592	

Fig. 12 Output form of data management

G.No	P.No	P_name	P.Quantity	Handling	Access	Insertion	Total Time
1	1	Cylinder block	1	2,304	1.08	7.76	11.15939
1	2	Crank shaft	1	1,26	0.72	1.08	3.05939
1	3	Stator	1	0	2,088	7.56	9.64799
2	4	Rotor assy	1	6,048	2,736	3,096	11.88000
2	5	Shell	1	3,816	3,024	16,848	23.68799
2	6	Ear mounting	1	4,392	3.96	16,848	25.20000
2	7	Protector	4	5.4	3.96	18,720	23.08800
2	8	Pipe assy	1	6,12	2,736	15,192	24.04800
3	9	Stopper stator	1	2,52	1,512	3.96	7.99200
3	10	Boh (Stator)	2	3,024	2,592	9.576	15.19200
3	11	Cover silencer	1	3,384	2,592	7,416	13.99200

Fig. 13 Print form of assembly time



‘인쇄’ 버튼을 누르면 인쇄가 되어지고, ‘내보내기’ 버튼을 누르면 파일로 저장이 가능하며 ‘확대/축소’ 버튼을 누르면 화면의 확대와 축소가 가능하게 된다. 이러한 출력화면은 조립어려움 점수 화면도 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 설계단계에서 제품의 조립시간을 산정하고 조립용이성을 평가하기 위한 새로운 방법론을 제시하고, 사용자 중심의 지원 시스템을 개발하였다. 동작분석 기법을 사용하여 조립시간을 추정하였으며, AHP 로 구한 결정요소와 영향요소의 가중치와 영향요소의 등급별 어려움 점수를 사용하여 조립용이성을 평가하였다. 그리고, 구체적이고 많은 결정요소 및 영향요소를 사용하되 입력정보를 최소화하고 간편화한 DFA 지원 시스템을 개발하였다. 이러한 조립시간과 조립용이성을 사용하여 생산하고자 하는 제품의 조립효율을 미리 살펴봄으로써 전반적인 조립시간 및 비용을 줄일 수 있을 것이다.

향후 분석된 조립 취약특성을 제거하기 위하여 재설계 원칙을 적용하여 재설계 대안을 생성할 것이다. 또, 인터넷을 사용하여 여러 부서에서 보다 구체적인 정보를 입력하게 하여 정확한 평가 결과를 도출할 수 있는 웹 기반 시스템을 구축할 것이다.

#### 후 기

이 논문은 청정생산기술 개발사업(가전제품의 환경친화설계기술(DFE) 및 시스템 개발: EL-00-01-1)에서 지원 받아 수행된 연구임.

#### 참고문헌

1. Andreasen, M., Design for Assembly, IFS Publications, UK, pp. 9-148, 1988.
2. Boothroyd, G., Assembly Automation and Product Design, Marcel Dekker, Inc., pp. 181-208, 1992.
3. Cross, N., Engineering Design Methods, John Wiley & Sons, pp. 19-76, 1994.
4. Redford, A. and Chal, J., Design for Assembly, McGraw-Hill, Inc., pp. 75-134, 1994.

5. Mok, H. S., Cho, J. R., Kang, Y. H., "Methodology for Estimation of Assembly Time and Evaluation of Assemblability," Journal of KSPE, Vol. 19, No. 5, pp. 72-80, 2002.
6. Saaty, T., "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process," Management Science, Vol. 32, No. 7, pp. 841-855, 1986.
7. Harker, P., "The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process," Management Science, Vol. 33, No. 11, pp. 1383-1402, 1987.
8. Hwang, H., "Work Study," Young Ji, pp. 129-156, 1992.
9. Mok, H. S., Cho, J. R., "Development of Product Design Methodology for Assemblability and Disassemblability Considering Recycling," Journal of the KSPE, Vol. 18, No. 7, pp. 72-84, 2001.
10. Marcel, T., "Designer Support for Product Structuring-Development of a DFX Tool within the Design Coordination Framework," Computer in Industry, Vol. 33, pp. 155-163, 1997.
11. Spicer, J. and Wang, M., "A Software Tool of End-of-Life-Cycle Consideration within A DSS Approach to Environmentally Conscious Design and Manufacturing," Computers & Engineering, Vol. 29, pp. 501-505, 1995.