

조립시간 산정과 조립용이성 평가 방법론

목학수*, 조종래*, 김영훈*

Methodology for Estimation of Assembly Time and Evaluation of Assseblability

Hak Soo Mok*, Jong Rae Cho*, and Young Hun Kang*

ABSTRACT

DFA (Design for assembly) is a design philosophy for improving product designs for simpler or less costly assembly operations. This paper proposes a new DFA methodology that can estimate the standard assembly time and evaluate the assemblability of parts. We select some determining and influencing factors related with assembly process, and estimate the assembly time using motion analysis. By the levels of the determining and influencing factors, the assemblability is evaluated, and finally, the tables that include the time and score of assembly is suggested.

Key Words : DFA (조립을 위한 설계), Assembly time (조립시간), Motion analysis (동작분석), Assemblability (조립용이성)

1. 서론

최근 들어 제품에 대한 고객의 요구가 다양해짐에 따라서 그에 비례하여 제품의 다양성 또한 증가하게 되어 다품종 소량생산의 필요성이 증가하게 되었다. 이는 제품을 생산하는 기업으로 하여금 다양한 제품을 생산하게 함으로써 생산시간과 비용 증가를 초래하였다. 조립을 위한 설계(DFA: Design for Assembly)는 제품 생산의 마지막 단계인 조립공정에서 최소의 부품으로 요구되는 제품 기능을 발휘하면서 조립시간과 비용을 줄이고 조립용이성을 높이는 방법론이다^[1].

조립을 위한 설계는 60년대 GE에 의해 제품 설계를 위한 가이드라인이 개발되면서 시작되었고 70년대 일본의 Hitachi의 AEM과 같이 자동 조립 용이화를 위한 시스템적 절차가 개발되었다. 80년

대에 Boothroyd와 Dewhurst가 이론적 최소 부품 수, 실제 조립시간 추정, 조립 어려움 파악, 조립 비용 평가 등의 구체적인 조립용이성 평가시스템을 개발하였고 90년대 들어서는 Lucas가 조립비용 절감과 부품 수 감소를 강조하는 조립용이성 평가방법을 제시하였고, Evershein과 Baumann은 CAD의 형상정보를 DFA에 이용하였다^[2].

조립용이성을 평가하는 방법 중 가장 일반적으로 알려진 방법이 Boothroyd와 Dewhurst의 방법론(이하 BD법)이다. 각 부품의 조립용이성을 정량화 하여 합해서 전체 제품의 조립용이성을 구하여 조립용이성 점수가 낮은 부품을 중점적으로 재설계를 하여 제품 전체의 조립용이성 점수를 높이는 정량적 평가 절차이다^[3,4].

본 연구에서는 이러한 BD법의 장점을 최대한 이용하면서 평가자가 적은 노력과 시간으로 객관

○ 2001년 11월 19일 접수

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소

적인 평가 결과를 도출할 수 있도록 하는 새로운 방법론을 제시한다. 설계단계에서 미리 생산하고자 하는 제품의 조립시간을 산정하고 조립용이성을 평가함으로써 취약점이 발생하는 부품을 개선할 수 있기 때문에 많은 시간과 비용을 절감할 수 있을 것이다.

2. 조립을 위한 설계

2.1 DFA 의 Flowchart

BD 법은 조립 결정요소를 취급(Handling)과 체결(Insertion) 두 가지로 나누어서 취급과 체결 모두에 접근동작을 동시에 포함시켰다¹⁾. 그런데 일반적인 취급과 조립할 대상 근처로의 접근은 시간상 많은 차이가 난다. 본 연구에서는 Fig. 1 과 같이 조립을 결정하는 요소를 취급(Handling), 접근(Access), 체결(Insertion)의 세 요소로 나누었다.

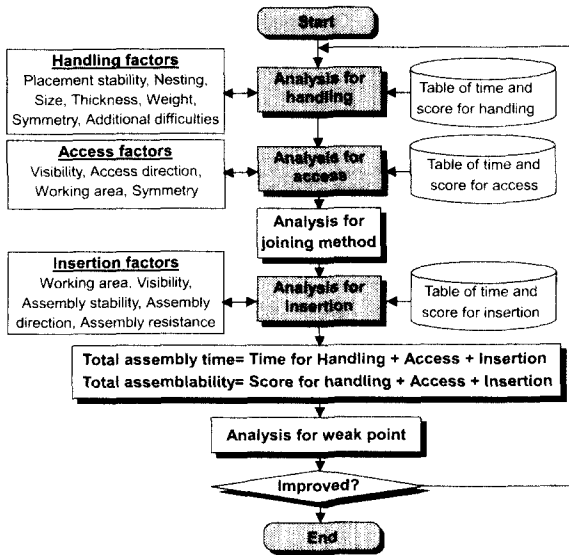


Fig. 1 Flowchart for DFA

이는 조립은 체결되는 부품, 조립군 혹은 체결요소를 취급하여 체결점으로 접근한 후 체결된다는 것을 의미한다. 다음으로 각 결정요소에 세부 영향요소를 도출한다. 결국, 총 조립시간은 이러한 결정요소들의 시간의 합으로 표현되고, 총 조립용이성은 각 부품의 결정요소별 용이성 정도의 합으로 계산된다. 평가결과 조립시간이 많거나 조립용

이성이 낮은 부품의 취약특성을 파악하여 조립용이성 설계원칙을 적용하여 전체적인 제품의 조립용이성을 향상시킬 수 있다. 각 결정요소의 조립시간과 조립용이성은 미리 결정되어 있는 테이블을 사용하여 구한다. 결국, 이러한 취급과 접근, 체결 테이블에 의하여 시간과 용이성이 자동으로 결정된다.

BD 법은 각 결정요소의 영향요소를 선정할 때 ‘잡기 쉽고 어려움’, ‘취급하거나 조작하기 쉽고 어려움’ 등의 기준이 불명확하게 분류되어 사용자가 실제 조립동작에서의 시간을 추정하고자 할 때 객관적으로 찾기가 힘들다. 또, 조립공정에 발생하는 다양한 영향요소를 반영하지 못하고 적절한 영향요소를 사용하지 못하여 올바른 시간 측정이 어렵다. 예로 ‘크기가 너무 작아서 부가적인 Tool 의 사용’과 ‘크기가 너무 커서 두 손을 쓰는 경우’에서 그것을 결정하는 크기(Size)는 영향요소에서 빠져있다. 본 연구에서는 기준을 명확하게 설정하고 각 공정(단계)에서의 영향요소의 산출에 많은 노력과 연구를 하였으며 보다 다양하고 정확한 시간 테이블을 작성하였다. 또, 조립에 가장 영향을 미치는 조립방법을 BD 법의 광범위하고 불명확한 분류가 아닌 각 조립방법에 따른 영향요소를 산출하여 모든 조립방법에 대해서 다른 시간 테이블을 작성하여 시간(점수)이 안정적이고 원래값(Original value)에 보다 가깝게 접근할 수 있게 하였다.

2.2 조립 결정요소와 영향요소의 도출

각 결정요소별 세부 영향요소를 도출하는 이유는 이러한 영향요소들에 의해서 각 부품들의 조립시간과 조립용이성을 구할 수 있는 테이블이 만들어지기 때문이다. Table 1 은 조립의 결정요소와 그에 따른 영향요소, 각 영향요소별 등급을 보여주고 있다. 영향요소의 등급을 나누는 이유는 조립시간과 조립용이성이 이러한 등급에 의해서 결정되기 때문이다. 일반적으로 영향요소는 크게 정성적(Qualitative)인 요소와 정량적(Quantitative)인 요소로 나눌 수 있다. 크기(Size), 두께(Thickness), 무게(Weight) 등은 정량적인 요소이며 작업영역(Working area), 시각성(Visibility) 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.

Table 1 Influencing factors and levels of assembly

Criteria	Influencing factors	Level				
		1	2	3	4	
Handling (0.12)	Placement stability (0.05)	Good (1)	Bad (5)			
	Nesting/Tangling (0.16)	No (1)	Yes (7)			
	Size (0.22)	I, II	$1 < S \leq 20$ (1)	$20 < S \leq 50$ (3)	$0 < S \leq 1, S > 50$ (9)	
		III	$S \leq 100$ (1)	$S > 100$ (7)		
	Thickness (0.07)	$0 < T \leq 5$ (1)	$5 < T \leq 10$ (5)			
	Weight (0.09)	I, II	$W \leq 0.3$ (1)	$0.3 < W \leq 2$ (7)		
		III	$W \leq 3$ (1)	$W > 3$ (9)		
	Symmetry (0.12)	I	$\alpha + \beta < 360$ (1)	$360 \leq \alpha + \beta < 540$ (3)	$540 \leq \alpha + \beta < 720$ (5)	$\alpha + \beta = 720$ (7)
II		$\alpha \leq 180$ (1)	$180 < \alpha \leq 360$ (5)			
III		$\alpha < 180$ (1)	$\alpha = 180$ (5)			
Additional difficulties (0.29)	No (1)	Yes (7)				
Access (0.25)	Visibility (0.30)	Good (1)	Bad (7)			
	Assess direction (0.09)	Vertical(Gravity) (1)	Horizontal(oblique) (5)	Combined (7)		
	Working area (0.55)	Good (1)	Bad (7)			
	Symmetry (0.06)	$\beta = 0, \beta = 90$ (1)	$\beta = 180, \beta = 360$ (5)			
Insertion (0.63)	Working area	Good (1)	Bad (7)			
	Visibility	Good (1)	Bad (7)			
	Assembly stability	Good (1)	Bad (7)			
	Assembly direction	Vertical(Gravity) (1)	Horizontal(oblique) (5)	Combined (9)		
	Assembly resistance	No(1)	Yes(5)			

작업 영역은 체결점에서 부품을 조립수행체로 체결할 때 그 부품의 형상이나 다른 부품에 의해 간섭 없이 작업을 할 수 있는 영역을 나타낸다. 따라서, 작업 영역은 부품의 개방성(Open)과 공구의 공간허용정도(Space permission)에 의해서 결정된다.

Fig. 2 는 나사작업에서 이러한 부품 개방성과 공구의 공간허용정도에 의해서 결정되는 작업 영역의 정의와 등급의 분류를 보여주고 있다. 즉, 작업 영역 좋음(Good)은 손과 공구를 사용할 때 작업영역이 충분하여 작업자가 결합력을 주기가 쉽거나 제약이 거의 없는 경우를 말하고, 나쁨(Bad)은 작업공간이 매우 협소하고 장애물이 있어서 특정 형태의 공구만 사용가능 하거나 작업 시 어려움이 많은 경우로 정의된다.

시각성은 체결하고자 하는 부품의 체결점의 보이는 정도를 나타내며, 부품의 개방성(Open)과 체결점을 볼 수 있는 가시범위(Visual limits for joining point)의 관계에 의해 결정된다.(Fig. 3)

시각성의 등급은 크게 좋음과 나쁨으로 나누었으며, 부품의 개방이 완전개방(Full open)과 부분 완전개방(Partial open)의 경우에 체결점의 가시범위가 넓은 경우에 시각성이 좋다고 정의한다. 그리고 거의 비개방(No open)이면서 체결점의 가시범위가 좁은 경우에 시각성이 나쁘다고 정의한다.


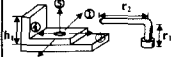

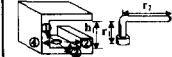
Working area	Opening	Space permission
Good Free movement of tool	Full open	 $\{ \phi > r_1 \} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} > 1.5r_2 \Rightarrow$ Free movement of tool
Partial restriction of tool movement	Partial open	 $\{ h_1 > r_1 \} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} - d_1 < 1.5r_2$ \Rightarrow Partial restriction of tool $\{ h_1 < r_1 \} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} - d_1 < 1.5r_2$ \Rightarrow Free movement of tool
		 $\{ h_1 > r_1 \} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} < 1.5r_2$ \Rightarrow Partial restriction of tool $\{ h_1 < r_1 \} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} < 1.5r_2$ \Rightarrow Free movement of tool
Bad Much restriction of tool movement	No open	 $\{ h_1 > r_1 \} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} < 1.5r_2$ \Rightarrow Partial restriction of tool $\{ r_2 < h_2 < 1.5r_2 \}$ \Rightarrow Partial restriction of tool

Fig. 2 Definition of working area

Visibility		Visual limits for joining point		
Good Visibility	Full open			$360^\circ + 360^\circ$
				$A + 180^\circ + 360^\circ$
	Partial open			$A + B + 180^\circ + 360^\circ$
				$A + B + C + 360^\circ$
Bad Visibility	No open			$A + B + 360^\circ$
				$A + 360^\circ$

Fig. 3 Definition of visibility

대칭성은 크게 α -symmetry 와 β -symmetry 로 나눈다. α -symmetry 는 삽입축에 직각을 이루는 방향으로 회전하여 삽입 위치로까지 회전한 각을 말하며, β -symmetry 는 삽입축을 회전각으로 하여 삽입 위치로까지 회전한 각을 말한다. 결국 이러한 대칭성이 좋을수록, 즉 취급을 위한 회전각이 작을수록 등급이 좋다.

놓임안정성(Placement stability)은 부품이 지면과 어떤 상태로 접촉하여 놓여져 있는가를 말하며 부품의 면과 지면과의 접촉면의 상태인 접촉상태에 의해 결정된다. 접촉상태는 크게 점접촉, 선접촉, 면접촉, 복합접촉의 네 가지 종류가 있다.

놓임안정성은 크게 좋음(Good)과 나쁨(Bad)의 두 등급으로 분류되며 점접촉과 선접촉의 경우에 나쁘고 면접촉과 복합접촉의 경우 좋다. 그 이유는 부품면과 지면사이의 접촉면적이 커질수록 그 부품의 놓임안정성도 커지기 때문이다.

Table 1 에서 각 결정요소와 영향요소의 가중치는 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 이용하여 구하였다⁶⁾. 그리고, 레벨별로 어려움 점수(Difficulty score)를 1, 3, 5, 7, 9 다섯 단계로 부여하였다. 많은 연구에서는 이 어려움 점수를 레벨에 따라 1(Good), 3(Middle), 9(Bad) 세 단계로 부여하였지만 본 연구에서는 1 부터 9 까지 1(Good), 3(Not bad), 5(Not good), 7(Bad), 9(Absolute bad)의 다섯 구간으

로 분류하였다. 그 이유는 이 스케일이 실제값과 추정치의 상관계수(Correlation coefficient)가 가장 큰 것으로 많은 실험에서 증명되었기 때문이다^{7, 8)} 그리고, 그 값을 영향요소의 등급에 따라 그 중요도에 맞추어 부여하였다. 예를 들면 놓임안정성과 엉킴성(Nesting/Tangling)의 등급은 같지만 어려움 점수는 1, 5 와 1, 7 로 다르게 주어졌다. 이것은 엉킴성의 2 등급이 놓임안정성의 2 등급보다 더 많이 조립에 영향을 미친다는 의미이다. 이러한 결정요소와 영향요소의 가중치와 점수를 구하는 이유는 이러한 값들에 의해서 뒤에 조립용이성이 계산되기 때문이다.

2.3 동작분석을 통한 조립시간 산정

표준 조립 시간을 산정하기 위해서 본 연구에서는 동작분석 기법을 사용하였다. 그 세부 절차는 다음과 같다.

- Step 1) 모든 조립공정을 동작 분석함
- Step 2) 분석된 조립 동작을 각 결정요소별로 분류하고 그룹핑함
- Step 3) 기본동작을 MTM 과 WF 를 사용하여 정의
- Step 4) 조립시간 산정을 위해서 기존의 MTM 과 WF 테이블을 확인
- Step 5) 만약 그 테이블에 해당 결정요소의 모든 영향요소가 다 포함되어 있으면 Step) 6 으로 가고 그렇지 못하면 Step) 7 로 감
- Step 6) 그 기본동작의 시간을 구하고 Step) 9 로 감
- Step 7) 모든 영향요소와 그 등급을 포함하는 조립 환경을 만들
- Step 8) 실제 조립실험을 한 후 Step) 6 으로 감
- Step 9) 만약 모든 결정요소의 기본 동작 분석이 이루어졌으면 끝내고 그렇지 못하면 Step) 4 로 감

위 단계의 아이디어는 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.

2.3.1 조립공정의 동작분석

동작분석은 PTS (Predetermined Time Standard)법 중에서 MTM (Methods Time Measurement)법과

WF(Work Factor)법을 동시에 사용하였다. 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 구성되어 있다. WF 는 T(Transport), PP(Pre-position), A(Assemble), U(Use), D(Disassemble), MP(Mental Process) 등으로 구성된다^[9]. 예를 들면, 나사작업의 기본동작은 볼트를 쳐다보고(ET), 손을 뻗쳐서(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. 이처럼 MTM 을 기초로 하여 WF 의 기본동작을 보완하여 정의한다.

이러한 기본 동작들은 그 나름대로의 영향요소(거리, 정렬상태 등)를 포함한 시간테이블이 존재한다. 동작분석을 통한 조립시간 산정 단계에서 언급했듯이 이러한 기존의 시간 테이블을 기초로 최종적인 시간 테이블이 작성된다.

2.3.2 표준 조립시간 및 용이성 산정 절차

Fig. 4 는 표준 조립시간을 구하기 위한 과정을 보여주고 있다.

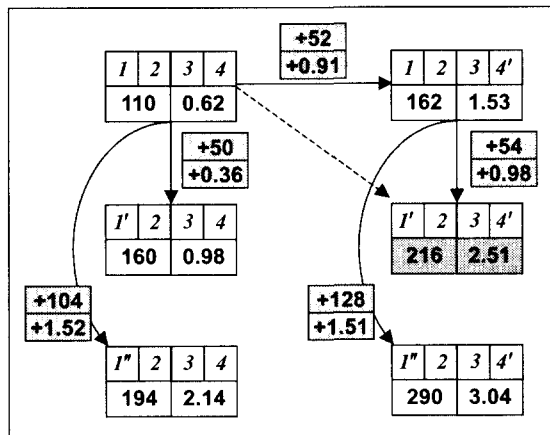


Fig. 4 Calculation process of assembly time and assemblability

만약 어떤 결정요소에 네 종류의 영향요소 1, 2, 3, 4 가 있고 영향요소 1 은 1, 1', 1'' 세 종류의 등급이 존재하고 영향요소 4 는 4, 4' 두 종류의 등급이 있다고 가정하자. 현재 네 종류의 영향요소의 등급이 모두 1 등급인 1, 2, 3, 4 의 경우 그

시간은 110TMU 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'로 바뀌었을 때 52TMU 의 페널티 시간이 추가되어서 총 시간이 162TMU 가 된다. 그리고 다시 여기서 영향요소 1 의 등급이 한 단계 떨어져서 1 에서 1'로 된 1', 2, 3, 4'의 경우에는 페널티 시간 54TMU 가 추가되어서 216TMU 가 되는 것이다. 이 시간은 영향요소 1 과 4 의 등급이 한 단계씩 떨어졌을 때의 페널티 시간 50TMU 과 52TMU 의 합 102TMU 보다 4TMU 의 시간이 더 걸린 것이다. 이것은 영향요소 1 과 4 가 동시에 한단계씩 떨어져서 1, 2, 3, 4 에서 1', 2, 3, 4'로 바뀌었을 때 즉, 두 가지의 영향요소가 복합적으로 떨어졌을 때는 하나씩 등급이 떨어졌을 때보다 시간이 α 만큼 더 걸림을 보여준다. 이러한 관계를 식 (1)에서 보여주고 있다.

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

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

여기서, $T_{1',2,3,4'}$ 는 영향요소가 1, 2, 3, 4 에서 1', 2, 3, 4'로 바뀌었을 때의 조립시간을 나타내고 $PT_{1,2,3,4 \rightarrow 4'}$ 는 영향요소 4 가 4'로 한 등급 떨어졌을 때의 페널티 시간을 나타낸다. α 는 등급이 동시에 떨어졌을 때 추가되는 페널티 시간을 나타내며 Fig. 4 에서는 4TMU 이다.

지금까지 부품의 조립용이성을 평가하는 대부분의 연구가 영향요소와 그 선호점수의 단순한 곱으로 그 용이성을 구하였다^[10]. 본 연구에서는 새로운 방법을 제시한다. 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. 4 에서와 같이 영향요소 1, 2, 3, 4 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 나타내고, 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.

식 (3)은 시간을 구하는 개념과 비슷한 개념으로 영향요소의 등급이 낮아짐에 따라 용이성 점수를 구하는 개념을 보여주고 있다.

$$S_{j',2,3,4'} = S_{1,2,3,4} + PS_{1,2,3,4 \rightarrow 4'} + PS_{j \rightarrow j',2,3,4'} \quad (3)$$

$$= S_{1,2,3,4} + PS_{1,2,3,4 \rightarrow 4'} + PS_{j \rightarrow j',2,3,4} + \beta$$

여기서, $S_{j',2,3,4'}$ 는 영향요소 1, 2, 3, 4가 1', 2, 3, 4'로 바뀌었을때의 조립용이성 점수를 나타내고 $PS_{1,2,3,4 \rightarrow 4'}$ 는 영향요소가 4에서 4'로 바뀌었을때의 페널티 점수를 나타낸다.

조립용이성을 구하는 이러한 과정은 가중치를 구할 때와 마찬가지로 기본적으로 AHP의 과정을

Legend		Placement stability: good and Nesting/Tangling: No								Placement stability: good or Nesting/Tangling: No									
		S ≤ 20				20 ≤ S ≤ 50				1 ≤ S ≤ 20				20 ≤ S ≤ 50				Additional difficulties	
		0 < T ≤ 5		5 < T ≤ 10		0 < T ≤ 5		5 < T ≤ 10		0 < T ≤ 5		5 < T ≤ 10		0 < T ≤ 5		5 < T ≤ 10			
		W	0.3 < W ≤ 0.3	W	0.3 < W ≤ 0.3	W	0.3 < W ≤ 0.3	W	0.3 < W ≤ 0.3	W	0.3 < W ≤ 0.3	W	0.3 < W ≤ 0.3	W	0.3 < W ≤ 0.3	W	0.3 < W ≤ 0.3		
		0.3	≤ 2	0.3	≤ 2	0.3	≤ 2	0.3	≤ 2	0.3	≤ 2	0.3	≤ 2	0.3	≤ 2	0.3	≤ 2		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Handling table (I)	α + β < 360	0	35	46	42	54	42	55	50	64	54	64	60	76	64	78	72	84	100
		1	0.09	0.15	0.12	0.18	0.14	0.20	0.17	0.24	0.19	0.26	0.23	0.29	0.25	0.31	0.28	0.35	0.62
	360 ≤ α + β < 540	1	44	58	52	66	52	68	62	78	66	78	74	88	78	97	90	100	124
		2	0.11	0.18	0.15	0.21	0.17	0.23	0.20	0.27	0.22	0.29	0.26	0.32	0.28	0.34	0.31	0.37	0.66
	540 ≤ α + β < 720	2	50	66	60	72	59	78	72	86	76	88	84	98	88	110	104	112	138
		3	0.14	0.21	0.18	0.25	0.20	0.27	0.24	0.30	0.26	0.32	0.29	0.36	0.31	0.38	0.34	0.42	0.69
	α + β = 720	3	54	70	66	80	64	84	80	96	82	94	92	106	96	120	112	122	150
		4	0.17	0.23	0.21	0.27	0.22	0.29	0.26	0.32	0.28	0.35	0.31	0.38	0.33	0.40	0.37	0.43	0.72

Legend		Good visibility						Bad visibility						
		Access direction			Access direction			Access direction			Access direction			
		Vertical(Gravity) direction	Horizontal(oblique) direction	Combined direction	Vertical(Gravity) direction	Horizontal(oblique) direction	Combined direction	Vertical(Gravity) direction	Horizontal(oblique) direction	Combined direction	Vertical(Gravity) direction	Horizontal(oblique) direction	Combined direction	
		Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad	Good	Bad	
Access table	β = 0	0	20	38	30	46	56	78	48	64	56	72	68	90
		1	0.25	1.08	0.34	1.17	0.39	1.21	0.70	1.53	0.79	1.62	0.84	1.66
	β = 90	1	30	50	42	58	64	88	56	76	66	84	76	110
		2	0.31	1.14	0.40	1.23	0.45	1.27	0.76	1.59	0.85	1.68	0.90	1.72

Legend		Assembly stability: Good						Assembly stability: Bad						
		Vertical(Gravity) direction		Horizontal (oblique) direction		Combined direction		Vertical(Gravity) direction		Horizontal (oblique) direction		Combined direction		
		Resistance: No	Resistance: Yes	Resistance: No	Resistance: Yes	Resistance: No	Resistance: Yes	Resistance: No	Resistance: Yes	Resistance: No	Resistance: Yes	Resistance: No	Resistance: Yes	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Bolting table	Working area: Free and Visibility: Good	0	110	162	130	188	166	248	148	194	162	214	206	298
		1	0.62	1.53	1.00	1.91	1.38	2.29	0.93	2.46	1.31	2.21	1.68	2.60
	Working area: Little or Visibility: Bad	1	160	216	206	242	248	286	200	266	246	290	300	358
		2	0.98	2.51	1.98	2.89	2.36	3.27	1.91	2.82	2.29	3.19	2.66	3.57
	Working area: Little and Visibility: Bad	2	194	290	242	314	346	364	258	356	296	378	390	440
		3	2.14	3.04	2.51	3.42	2.89	3.80	2.44	3.35	2.82	3.72	3.19	4.10

Fig. 5 Example of tables for DFA

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.

2.3.3 조립시간 및 조립용이성 테이블 작성

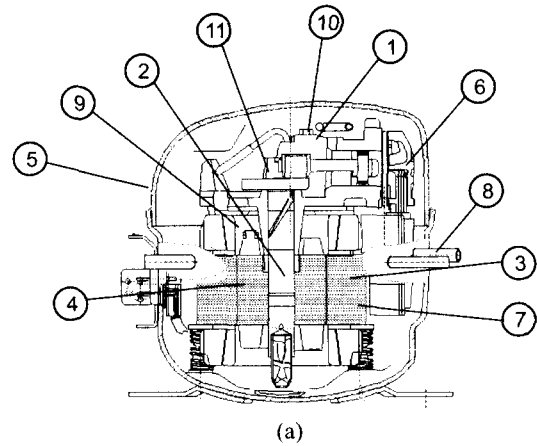
본 연구에서는 위에서 설명했듯이, 조립의 각 결정요소별로 시간과 용이성 점수를 포함하는 테이블을 미리 결정하여 제시하였다. 이렇게 미리 결정된 테이블을 보면서 각 부품의 영향요소별 특성이 결정되면 그 부품의 조립시간과 조립용이성이 동시에 결정될 수 있다.

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

취급은 Table 1 에서와 같이 테이블이 세 종류로 주어진다. 한 손으로 취급가능한 부품의 경우(I), 부품의 취약특성(영김성 등) 때문에 두 손으로 취급하는 경우(II), 크거나 무거운 무게 때문에 두 손으로 취급하는 경우(III)가 그것이다. Fig. 5 는 차례대로 취급(I)과 접근, 체결방법 나사작업의 시간 및 용이성 테이블을 예로 보여주고 있다. Table 1 에서 보는 바와 같이 결정요소 취급의 영향요소는 놓임 안정성, 영김성, 크기, 두께, 무게, 대칭성, 부가적 어려움이며 각 등급에 따라서 앞에서 제시한 방법으로 시간 및 용이성 점수가 주어졌다. 접근의 경우에는 시각성, 접근방향, 작업영역, 대칭성의 영향요소로 시간과 점수가 결정되었다. 조립방법이 나사조립의 경우 Fig. 4 의 예가 0 열과 1 열에서 구해졌다는 것을 알 수 있다.

3. 사례연구

본 연구에서는 사례연구로 냉장고 조립군인 Compressor 조립군을 선정하였다. 냉장고 조립군의 분리실험을 한 결과 Compressor 조립군이 여러 가지 조립방법으로 많은 부품이 존재하여 DFA 기술을 적용하기 적합했기 때문이다. Fig. 6 은 Compressor 조립군의 주요 부품(a)과 부품 정보(b)를 보여주고 있으며 예로 11 개의 주요 부품에 대하여 연구를 수행하였다.



No.	Part name	Material	Weight (g)
1	Cylinder block	GC-200	1871.0
2	Crank shaft	GC-200	237.0
3	Stator	ST-STEEL	4236.3
4	Rotor assy	ST-STEEL	1524.8
5	Shell	SHP-1	3038.0
6	Ear mounting	SHP-1	328.0
7	Protector	SHP-1	58.0
8	Pipe assy	C1220T-H	46.9
9	Stopper stator	SHP-1	101.0
10	Bolt (Stator)	SCM	8.0
11	Cover silencer	HOT ROLL COIL	41.3

(b)

Fig. 6 Sketch and partlist of compressor

계산과 이해의 편의를 위해서 본 연구에서는 평가차트를 제시하였다. Table 2 는 Compressor 조립군의 DFA 평가를 위한 차트이다. 1 열은 부품 번호, 2 열은 부품의 수를 나타내고, 3 열의 작업반복수는 계속해서 반복해야하는 작업의 수를 나타낸다. 2 열의 수만큼의 시간이 더 걸리므로 조립시간에서 이 값을 곱해야 한다. 그리고, 3 열 작업반복수의 경우에는 해당 결정요소의 작업반복수를 나타내므로 해당되는 결정요소에만 그 수만큼 곱한다. 예를 들면, 부품 7 의 경우 부품의 수가 4 개이므로 취급과 접근, 체결 모든 결정요소에 4 가 곱해져서 조립시간이 구해진다. 그러나 부품 1 의 경우에는 체결작업이 3 번 반복되므로 결정요소 체결에만 3 이 곱해진다. 4 열은 조립에서 취급의 테이블상의 코드를 나타낸다. 5 열과 6 열은 테이블상의 시간 및 용이성 점수를 나타낸다. 시간은

Table 2 Evaluation chart for DFA

Evaluation chart for DFA														
Product: Compressor of refrigerator														
Part no.	Quantity	No. of repetitions	Handling (per part)			Access (per part)			Assembly Method	Insertion (per part)			Total	
			Code	Time(sec.)	Score	Code	Time(sec.)	Score		Code	Time(sec.)	Score	Time(sec.)	Score
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	3	3:3(I)	2.88	0.36	0:1	1.08	0.31	Bo	1:1	7.78(*3)	2.51	27.30	3.18
2	1	1	3:1(I)	2.38	0.28	0:0	0.72	0.25	Nf	2:0	1.51	0.93	4.61	1.46
3	1	1	11:0(II)	4.75	0.35	5:0	2.81	1.21	Ty	6:1	14.98	3.96	22.54	5.52
4	1	1	0:1(III)	2.45	0.20	7:0	2.30	1.53	Nf	4:1	3.10	2.18	7.85	3.91
5	1	1	5:1(I)	2.45	0.31	2:0	1.08	0.34	We	8:1	27.27	1.61	30.80	2.26
6	1	1	2:3(I)	2.38	0.28	2:1	1.51	0.40	Nf	2:0	1.51	0.93	35.93	4.15
		4	0:3(I)	1.94	0.23	2:1	1.51	0.40	Bo	3:0	6.77(*4)	1.91		
7	4	1	8:2(I)	2.74(*4)	0.35	9:1	2.59(*4)	0.62	We	4:2	8.51(*4)	3.89	55.36	4.86
8	1	1	6:0(II)	3.82	0.28	3:0	1.66	1.17	Ca	3:1	33.22	6.12	38.70	7.57
9	1	1	0:2(I)	1.80	0.19	2:1	1.51	0.40	Nf	2:1	2.45	1.99	5.76	2.58
10	2	1	0:1(I)	1.58(*2)	0.15	0:0	0.72(*2)	0.25	Bo	3:0	6.77(*2)	1.91	18.14	2.31
		1	0:3(I)	1.94	0.23	0:0	0.72	0.25	Bo	3:0	6.77	1.91	9.43	2.39
Sum				40.91	3.21		26.7	7.13			188.81	29.85	256.42	40.19
Legend			Bo: Bolting, Nf:No fastener, Ty:Tying, We:Welding, Ca:Casting											

Fig. 5 의 TMU 에서 초단위로 환산한 값이다 (1TMU=0.036 초). 7 열에서 9 열까지는 접근에 대한 정보가 똑같은 방법으로 기입된다. 10 열은 조립방법을 나타내어 각 조립방법의 테이블을 찾아가기 위함이고, 11 열에서 13 열은 결정요소 체결에 대한 정보가 기입된다. 14 열은 이상의 과정으로 구한 총 조립시간을, 그리고 15 열은 총 조립용이성을 나타낸다.

이 평가표에서 얻을 수 있는 정보로는 각 부품별 취급, 접근, 체결 시간 및 용이성 점수와 전체 조립군의 취급, 접근, 체결 시간 및 용이성 점수 등이다. 이러한 정보들은 현재 조립군의 조립 효율을 구하는데 아주 유용한 정보이다. 그리고, 부품별 시간과 용이성 정보를 통하여 조립 취약 특성을 파악할 수 있다. 즉, 조립시간이 많이 걸리거나 조립 어려움 점수가 높은 부품을 확인하여 그 원인이 되는 영향요소를 찾아서 그 등급을 올리거나 향상시키는 방향으로 재설계가 가능하다.

Fig. 7 은 Compressor 조립군의 각 부품의 결정요소별 시간을 보여주고 있다.

부품 1 의 경우에 3 개의 볼트로 체결되기 때문에 상대적으로 체결시간이 많이 걸렸다. 재설계 시 볼트의 수를 줄이거나 다른 조립방법으로 체결이 용이하게 이루어질 수 있는지 등이 검토된다.

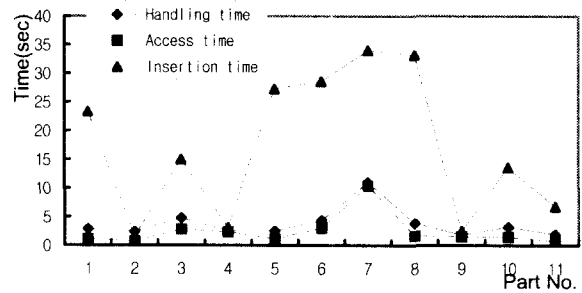


Fig. 7 Assembly time for compressor

부품 5 와 8 의 경우에도 조립방법 때문에 체결시간이 많이 걸리는 경우이다. 마찬가지로 다른 조립방법이 검토될 수 있다. 부품 6 의 경우에는 두 가지 조립방법으로 체결되고 4 개의 볼트로 체결

결되기 때문에 체결시간이 많이 걸린다. 이 경우에는 두 조립방법이 하나의 조립방법으로 통합되어질 수 있는지를 먼저 검토하고, 체결요소인 볼트 수를 줄이거나 볼트의 형상이나 길이 등을 변화하여 더 나은 결과를 가져올 수 있는지를 검토한다.

Fig. 8 은 Compressor 조립군의 부품별 용이성 정도를 보여주고 있다.

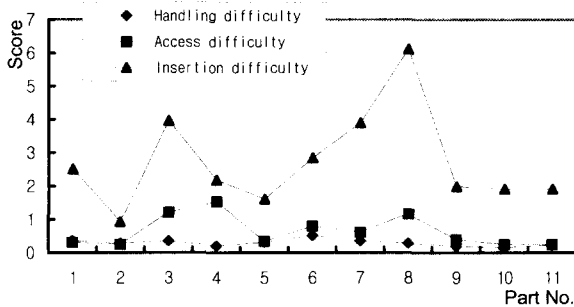


Fig. 8 Assemblability for compressor

일반적으로 조립시간이 많이 걸리는 부품의 용이성이 떨어져서 어려움 점수가 높지만 반드시 그렇지는 않다. 어떤 부품은 조립시간이 많이 걸리더라도 쉽게 조립이 되어서 조립 어려움 점수가 낮다. 대표적인 경우가 부품 6 이다. 조립시간은 상대적으로 많이 걸리지만, 조립방법이 Nf (No fastener)로 체결요소 없이 엮거나 접해놓음으로 해서 체결되는 경우와 상대적으로 쉬운 조립방법인 나사작업으로 체결되기 때문에 조립 어려움 점수는 시간에 비해서 낮음을 알 수 있다.

이렇게 조립시간이 많거나 어려움 점수가 높은 부품은 그 원인이 되는 영향요소를 향상시키는 쪽으로 재설계 원칙을 적용하여 재설계할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 동시공학적 개념에서 설계단계에서 제품의 조립용이성을 평가하기 위한 새로운 방법론을 제시하였다. 조립시간을 산정하기 위해서 동작분석 기법을 사용하였으며 영향요소의 등급에 따라서 페널티 시간을 부여하였다. 조립용이성은 AHP 로 구한 결정요소와 영향요소의 가중치와 영향요소의 등급별 어려움 점수를 사용하여 구하였다. 이러한 조립시간과 조립용이성을 사용하

여 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, 사용자가 쉽게 조립용이성을 평가할 수 있도록 사용자 중심의 시스템을 구축할 것이다.

후 기

이 논문은 청정생산기술 개발사업(가전제품의 환경친화설계기술(DFE) 및 시스템 개발:EL-00-01-1)과 2001 년도 두뇌한국 21 사업 핵심분야에서 지원받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. Andreasen, M., "Design for Assembly," IFS Publications, UK, pp. 9 - 148, 1988.
2. Cross, N., "Engineering Design Methods," John Wiley & Sons, pp. 19 - 76, 1994.
3. Boothroyd, G., "Assembly Automation and Product Design," Marcel Dekker, Inc., pp.181 - 208, 1992.
4. Redford, A., Chal, J., "Design for Assembly," McGraw-Hill, Inc., pp. 75 - 134, 1994.
5. Lotter, B., "Manufacturing Assembly Handbook," Butterworths, pp. 303 - 383, 1989.
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. 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.
9. 황학, "작업관리론," 영지 문화사, pp. 129-156, 1992.
10. 목학수, 조종래, "재활용을 고려한 조립 및 분리용이성을 위한 제품설계 방법론 개발," 한국정밀공학회지, 18 권, 7 호, pp. 72-84, 2001.