

이 연구는 1996년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임 (961-1012-092-1)

볼트를 사용한 제품에서의 조립용이성과 조립비용의 상관관계 평가시스템

목학수*, 문광섭*, 김형주**

Evaluation System for the Correlation Coefficient of the Assemblability and Assembly Cost of Products in Bolting

Hak-Soo Mok*, Kwang-Sup Moon*, Hyung-Ju Kim**

ABSTRACT

This paper studies the relationship between assemblability and assembly time. After analyzing characteristic factors of bolts and parts, seven different kinds of assemblability parameters were determined according to assembly process, and assemblability was also evaluated. MTM (Method-Time Measurement) and Work factor methods were used for an estimation of assembly time. It shows the relationship can be found on the basis of characteristic factors of parts and bolts by relational graphs and numerical formulas.

Key Words : Assemblability parameter(조립용이성 요소), Assembly time(조립시간), MTM

제1장 서론

오늘날 기업은 급변하는 국내외의 변화와 이로 인해 치열해져 가는 경쟁에 대응하고자 많은 노력을 하고 있다. 이러한 상황 속에서 기업은 경쟁력 강화를 위해, 제품 개발 시간단축과 제품 특성 향상, 제품 원가 절감 등을 고려한 제품 생산 설계를 필요로 하게 되었다^(1,2). 이를 위해 제품 설계단계에서 실행되는 모든 과정을 수정, 검토하여 리드타임과, 제품의 품질 향상 및 비용 절감을 동시에 수행할 수 있는 Concurrent Engineering에 관한 연구가 Fig. 1에서와 같이, Eversheim, Boothroyd등에 의해 많이 발표되고 있다⁽³⁻⁹⁾.

이러한 추세에 맞추어, 용접, 납땀과 같은 영구 체결이

나, 핀 또는 나사못을 이용한 분리 가능체결보다 사용빈도가 높으며, 또한 취급 종류와 수량이 많은 볼트의 특징 요소들에 대해 분석을 한다. 그리고 볼트에 의해 조립되는 제품의 특징요소들과 조립공정에 대해 조립용이성의 정도를 결정하고, MTM과 Work factor의 관련 동작요소를 이용해 조립시간과의 관계를 파악하여, 조립용이성과 조립시간의 상관관계를 파악할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

본 연구에서 조립에 소요되는 시간 또는 경비와 제품 특징요소 각각에 대한 조립 용이성을 함께 고려한 이들의 상관관계 결정을 기초로 하여 조립공정 시에 발생할 수 있는 애로공정의 방지 및 제거를 할 수 있으며, 조립시간 단축 및 조립시간에 대한 예측으로 생산비용을 줄일 수

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소
** KIST 휴먼로봇센터

국명	연구 책임자	연구내용	년도
독일	Eversheim	조립 및 분리 향상을 위한 플라스틱 소재의 구조 설계 • 조립을 위한 설계 • 분리를 위한 설계 • 자동차 내부 장식재 절감 [3]	1992
	Seliger	유연 자동분리 cell 구축 자원 재활용을 위한 분리 구조 설계 [4]	1995
미국	Boothroyd & Dewhurst	조립 시스템의 경제성 분석 • 기본 비용의 산출 • 수학적 모델 개발 • 시스템의 경제성 비교 • 이론적 최소 부품 수, 실제 조립시간 추정 [5]	1992
	Scott & Husband	로봇 조립 경제성 원칙 • 디자인 및 조립 고려 • Cycle 및 비용 분석 • 경제성 평가 [6]	1983
	Gustavson	Production Quality 에 의한 System Type 의 결정 • 임금 • 작동 및 유지 비용 • 고정 단위 비용 [7]	1983
	Wai-Chung Chow	비용 감소를 위한 제품 설계 • 비용감소의 수리적 방법 • 조립공정의 단순화 • 경제성 평가 • 플라스틱 소재에 대한 설계 [8]	1978

Fig. 1 국외 연구 동향

있는 제품 설계 및 개발 시스템의 기초 모델이 될 수 있을 것이다.

본 논문의 연구 범위는 중·소형의 가전제품(라디오, TV, 세탁기 등)의 조립에 해당하는 경우로 한 사람의 작업자가 의자에 앉아 있거나, 서서 작업을 하는 수조립으로 설정하였다.

제2장 부품 및 볼트 특성요소 파악

2.1 부품 특성요소 파악

부품 특성요소는 부품자체의 특성만을 고려한 조립 독립요소와 조립과정 속에서 부품이 운반, 삽입, 또는 체결이 수행되면서 영향을 미치는 부품 특성요소인 조립 종속요소로 나누었다.

조립 독립요소 결정을 위해 부품의 형상이나 기하학적인 요소, 물리적 성질 등으로 분류하여, 수동 조립인 볼트 작업에서 중요시 되는 부품 특성요소를 무게, 소재, 크기, 대칭성, 표면거칠기로 결정하였으며, 조립 종속요소 결정은 공정 중에 영향을 미치는 요소로써, 위치의 안정성, 정적 안정성, 방향성, 굴림성 등으로 구분하여 개방성, 접촉상태, 체결점 유도요소, 체결점 접근 방향 변경 횟수, 공간 허용도, 체결점의 형상, 위험요소로 나누었다 (Fig. 2).

예를 들어, 대칭성의 분류는 Boothroyd에 의해 제시된 α -대칭과 β -대칭에 의해 나타내었는데, α -대칭은 삽입축

에 직각을 이루는 방향으로 회전하여 원래의 위치가 될 때까지 회전한 각이며, β -대칭은 삽입축을 회전축으로 하여 원래의 위치가 될 때까지 회전한 각으로 정의된다⁽⁶⁾. 대칭성은 부품의 형상에 대한 분류를 위한 하나의 특징요소가 된다. 또한 개방성의 분류는 체결 방향을 기준으로 하여, 어느 방향에서도 제약이 없는 경우인 완전 개방, 한 방향의 제약이 있는 경우인 부분 완전 개방, 두 방향, 세 방향, 네 방향의 제약이 있는 경우를 각각 반개방 또는 부분 반개방, 부분 비개방, 부분 완전 비개방으로 분류하였다. 이러한 부품의 개방성은 체결점에 도구나 볼트가 접근하는 조립공정에 영향을 미치는 부품특징요소의 하나이다.

2.2 볼트 특성요소 파악

볼트 특성요소 또한 볼트 자체의 특징인 볼트 조립 독립요소와 체결시에 영향을 미치는 볼트특성요소인 볼트 조립종속요소로 분류하였다. 볼트 조립 독립요소는 볼트의 기하학적, 물리적 특성에 의해, 볼트의 크기, 소재, 무게로 결정하였으며, 볼트 조립종속요소는 볼트머리 및 동력 전달부의 형상, 볼트축 및 볼트산의 형상 및 길이, 볼트끝의 형상으로 분류하였다. 본 논문에서는 제품의 체결시에 직접 체결력을 전달하는 부분이며, 사용 체결공구와 직접적인 관련이 있는 볼트머리 및 동력 전달부의 형상에 대해서만 제시하였다.

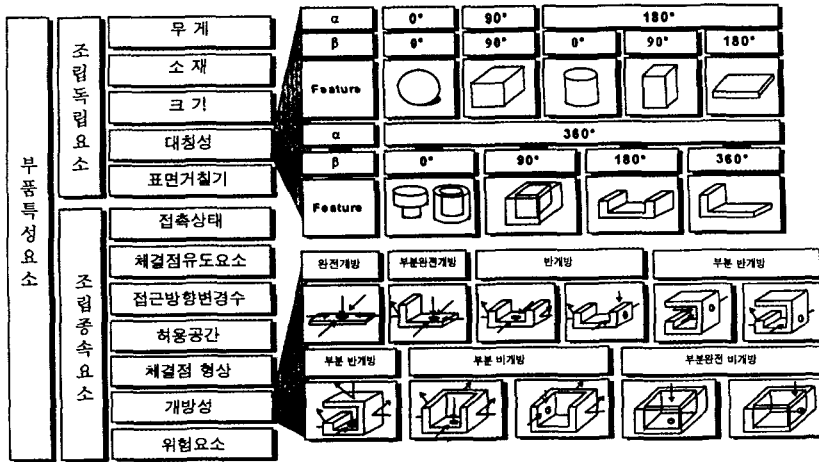


Fig. 2 부품의 특징요소에 대한 분류

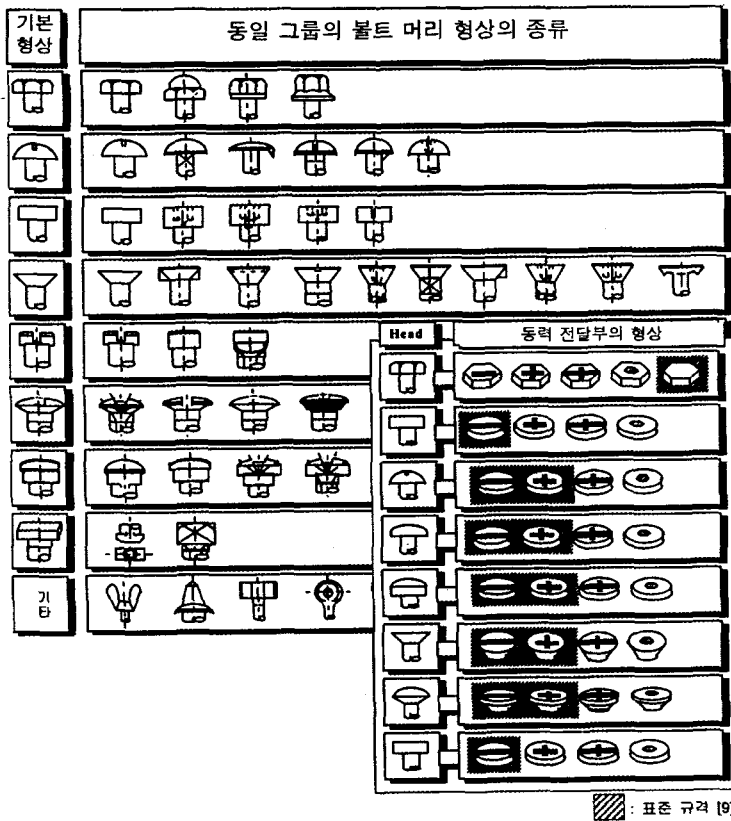


Fig. 3 볼트머리형상 및 동력 전달부의 형상

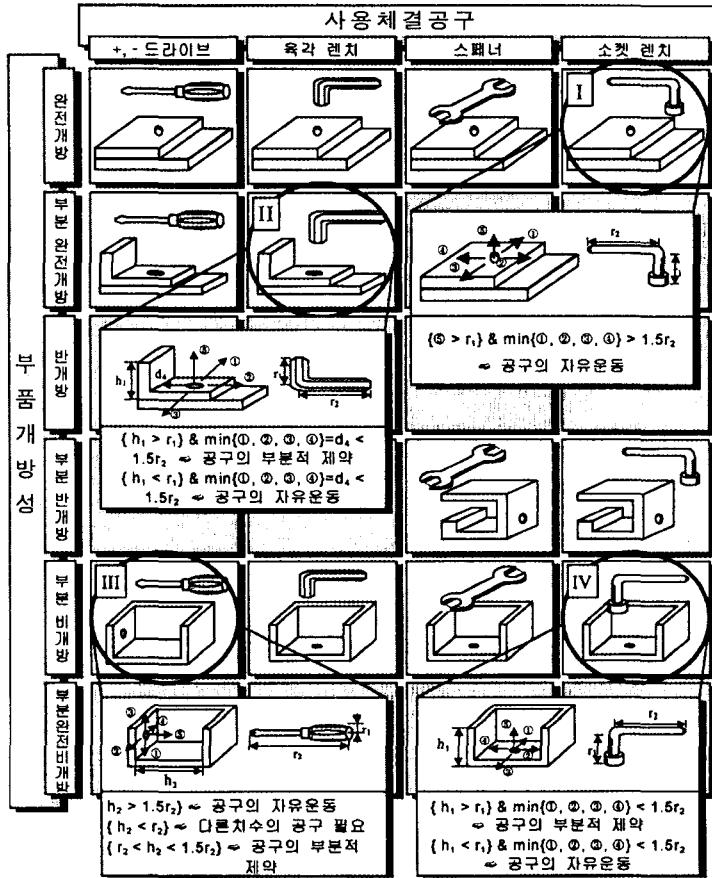


Fig. 4 작업영역에 대한 예

본 연구는 일반 중·소형의 가전 제품에 많이 사용되는, 육각머리, 평머리, 둥근머리, 납비머리, 둥근 평머리, 접시머리, 둥근 접시머리, 사각머리로 분류하였으며, Fig. 3에서와 같이 볼트머리의 기본 형상을 분류하였다. 동일 볼트 머리 그룹에 속하는 각각의 볼트머리는 해당 그룹의 기본 형상과 동일한 것으로 간주하였다. 또한 각 볼트머리에 따라 동력 전달부의 형상은 +, - 홈과 육각렌치를 이용하는 육각 홈 및 스패너 또는 육각 소켓렌치에 의해 체결이 이루어지는 육각머리의 홈이 없는 경우로 분류하였다.

결공구 작업공간의 상대적인 비교로 결정하였는데, 예를 들면 Fig. 4의 예 IV와 같이, 공간 허용도가 $h_1 < r_1$ 이고, $\min(\textcircled{1}, \textcircled{2}, \textcircled{3}, \textcircled{4}) < 1.5r_2$ ($\textcircled{1}$:체결점에서 1의 방향에 대한 맞은 편까지의 거리)이면 체결공구의 완전한 자유운동을 할 수 있는 작업영역으로 하였으며, 예 III과 같이, 같은 공간허용도를 가지더라도 체결시 사용하는 체결공구에 따라 체결공구 공간이 다르므로, 조립의 작업영역이 달라 질 수 있도록 하였다. 체결공구 회전반경의 1.5배 이상의 공간을 필요로 하는 경우는 체결공구의 길이가 부품 높이가 보다 낮은 경우에 적용된다.

제3장 볼트 작업에 대한 조립공정 분석

3.1 작업영역

작업영역에 대한 결정은 부품의 조립공간 허용도와 체

3.2 볼트 작업에 대한 동작 및 공정 분석

볼트 작업의 표준 동작 요소결정을 위해 MTM (Method-Time Measurement) 과 Work Factor 의 단위동작에 대해 분석하여, MTM이나 Work factor의

표준 동작	정 의	변동 요인
논의 이동	한 지점에서 다른 지점으로 투시축을 변경하기 위한 논동작	• 논의 이동거리
손을 펼침	목적물 또는 어느 구역에 손이나 손가락을 이동하는 것	• 작업자와 부품과의 거리
잡음	대상물을 손이나 손가락으로 완전히 장악하는 동작을 의미	• 대상물의 크기, 무게 • 표면 상태
운반	손이나 손가락에 의해 목적물을 어떤 목적지에 이동하는 것	• 이동거리 • 부품의 무게 • 조절의 정도
미리 놓기	후속되는 표준동작 요소를 잘 수행하기 위해서 똑바른 위치로 물체의 방향을 바꾸거나 돌리는 동작	• 부품의 크기, 상태
표면 조립	대상물을 서로 접촉시키는 것만으로 맞추는 조립	• 부품개방성 • 체결점 유도 요소
정치	두 물체의 축을 가지런히 하고(Align) 방향을 조정하여(Orient) 끼워 맞추는 (Engage) 세가지 과정으로 구성됨	• 맞춤의 난이도 • 대칭성 • 취급의 난이도
회전	팔뚝의 길이 방향을 축으로 하여 손이 회전되는 동작을 의미	• 회전 각도 • 중력 (저항)
크랭크	팔꿈치를 주축으로 하여 손가락, 손 및 팔뚝을 회전 시키는 동작	• 지경 • 회전수 • 목적물의 저항 • 형태
누름	근육의 힘을 가하여 대상물의 저항을 압도하는 동작	• 다시잡음 존재, 비존재

Fig. 5 표준 동작요소

		응이성 요소	정 의	영향요소	
공 정 전	부품	놓임 안정성	부품이 외부의 충격에 대해 본래의 접촉면을 그대로 유지하고자 하는 성질	• 접촉상태 • 무게중심 • 무게	
		적재 용이성	부품들 간에 포개짐의 쉬운 정도	• 접촉상태 • 소재	
공 정 중	부품 & 볼트	잡힘 용이성	Bulk 또는 정렬된 상대에서의 부품, 볼트를 손으로 잡을 때, 쥐기 쉬운 정도	• 크기 • 표면거칠기 • 유선요소	
		접근 및 정렬 용이성	부품	두개의 각 부품의 체결점이 서로 맞닿을 수 있기 쉬운 정도	• 개방성 • 체결점 유도 요소
			볼트	볼트가 체결점으로 접근하여, 체결점과 볼트축이 동일 축상에 있게 되기까지의 쉬운 정도	• 체결점 접근 변경 횟수 • 볼트길이
		취급 용이성	부품	잡혀진 부품이 이동되면서, 두 부품의 체결점을 서로 맞대기 용이 하도록 고쳐 잡는 것의 쉬운 정도	• 크기 • 소재 • 대칭성 무게 • 볼트 길이
			볼트	볼트를 체결점에 삽입하기 용이하도록 고쳐 잡는 것의 쉬운 정도	
체결 용이성	두개의 맞추어진 체결점 사이에 삽입된 볼트에 회전력을 가해, 두 부품에 체결력을 가하기 쉬운 정도	• 작업영역 • 체결공구 종류 • 볼트각인			
	볼트	부품의 체결점에 볼트의 끝을 삽입하기 쉬운 정도	• 볼트 끝 • 볼트 길이		

Fig. 6 조립용이성 결정요소에 대한 정의

여러 동작요소들 중 '눈의 이동', '손을 뺄침', '잡음', '운반', '미리놓기', '표면조립', '정치', '회전', '크랭크', '누름'을 표준 동작요소 (Fig. 5)로 결정하였는데, 본 논문에서는, '손을 뺄침', '운반'과 '미리놓기'에 대해서만 나타내었다 (10, 11).

예를 들어, '손을 뺄침'은 목적물 또는 어느 구역에 손이나 손가락을 이동하는 것으로서, 변동 요인은 작업자와 놓여진 부품과의 거리이며, 놓여진 목적물에 손을 뺄치는 경우에 대해서는 작업시 매 사이클마다 위치가 조금씩 바뀌는 단일 목적물에 손을 뺄치는 경우와 서로 뒤섞여 있는 대상물 중의 한 개에 손을 뺄치는 경우로 구분되어 있다.

운반은 손이나 손가락에 의해 목적물을 어떤 목적지에 이동하는 것으로서, 변동 요인은 이동거리와 부품의 무게, 조절의 필요 정도로 되어 있다. 조절의 필요 정도는 목적물을 대략적인 또는 불확정 위치로 운반하는 경우와 목적물을 정확한 위치에 운반하는 경우로 나누어져 있다. 미리놓기는 후속되는 표준 요소를 잘 수행하기 위해 똑바른 위치로 물체의 방향을 바꾸거나 돌리는 동작으로, 변동 요인으로는 부품 크기 (한 손, 두 손 작업), 부품의 상태 등이 될 수 있다.

제4장 조립용이성 결정요소 파악 및 평가

4.1 조립용이성 결정요소의 정의

볼트 작업에 있어서의 조립용이성 결정요소를 볼트 체결에 대한 공정 분석과 참고문헌 (12-16)을 통해, 부품간에 관련된 조립용이성 결정요소와 볼트에 관련된 조립용이성 결정요소, 부품과 볼트 동시에 관련된 조립용이성 결정요소로 구분하여 결정하였다. 그리고 각 용이성 결정요소는 공정 순서에 따라 조립공정 전과 조립공정 중으로 구분하였으며, 각 용이성 결정요소에 영향을 미치는 부품 및 볼트 특성요소들에 대해서도 결정하였다 (Fig. 6).

4.2 조립용이성 결정요소의 평가 방법

4.2.1 취급용이성

부품 및 볼트의 특성 중 취급용이성과 관련이 있는 요소로는, 크기 (한 손으로 고쳐 잡을 수 있는 크기, 두 손으로 고쳐 잡을 수 있는 크기), 대칭성, 취급시 팔리거나 외부 충격에 의한 주의 등과 관계가 있는 소재, 취급시 필요로 하는 힘과 관계가 있는 무게와 볼트의 길이로 결정하였다.

대칭성에 대한 평가는 Fig. 7과 같이, 본 연구에서는

대칭성에 의해 가장 단순한 경우인 $\alpha=0^\circ, \beta=0^\circ$ 을 4점으로, 가장 복잡한 경우인 $\alpha=360^\circ, \beta=360^\circ$ 을 0점으로 하였다.

영향요소	부품 및 볼트 특성에 따른 용이성 평가																																
취급용이성	대칭성	$P_7 = 4 - \frac{\alpha - \text{대칭} + 2}{360^\circ} - \frac{\beta - \text{대칭} + 2}{360^\circ}$																															
	무게	$P_8 = \frac{\text{가장 무거운 등급의 무게}}{\text{가장 가벼운 등급의 무게}} \times \alpha_8$ <small>(α_8 : 한 부품의 무게가 속하는 등급)</small>																															
	소재	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>한손 위치(1)</th> <th>표면 손상(2)</th> <th>주의 요점(4)</th> <th>평가점수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>철</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>(4)</td> </tr> <tr> <td>비철</td> <td></td> <td></td> <td>●</td> <td>(4)</td> </tr> <tr> <td>플라스틱</td> <td></td> <td>●</td> <td></td> <td>(2)</td> </tr> <tr> <td>나무</td> <td></td> <td>●</td> <td></td> <td>(2)</td> </tr> <tr> <td>유리</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> <td>(1)</td> </tr> </tbody> </table>		한손 위치(1)	표면 손상(2)	주의 요점(4)	평가점수	철			●	(4)	비철			●	(4)	플라스틱		●		(2)	나무		●		(2)	유리	●			(1)	
	한손 위치(1)	표면 손상(2)	주의 요점(4)	평가점수																													
철			●	(4)																													
비철			●	(4)																													
플라스틱		●		(2)																													
나무		●		(2)																													
유리	●			(1)																													

●: 관계없음, (): 용이성점수

Fig. 7 취급용이성에 대한 평가방법

4.2.2 체결용이성

체결용이성은 '두개의 맞추어진 체결점 사이에 삽입된 볼트에 회전력을 가해, 두 부품에 체결력을 가하기 쉬운 정도'로 정의 하여, Fig. 8과 같이 체결공구 영역과 공간 허용도의 비교에서 결정되어지는 작업영역과 선택되어진 체결공구의 종류, 회전력을 전달하는 볼트머리와 체결시간에 많은 영향을 미치는 볼트산의 길이 및 형상을 영향요소로 선택하였다. 또한 체결공구와 볼트머리와의 접촉면적 및 볼트머리의 형상에 따른 사용 가능한 체결공구의 종류도 고려하였다.

예를 들면, +자홈 육각머리 볼트의 경우는 사용 가능한 체결공구로는 +자 드라이버, 스페너, 소켓렌치를 사용할 수 있으므로 사용 가능한 체결공구의 개수에 대해서 3점이 된다. 또한 사용 체결공구에서 소켓렌치를 사용할 수 있으므로 4점을 부여하며, 접촉면의 크기에서 육각머리에 해당하므로 4점을 가지게 되어 +자홈 육각머리 볼트에 대한 체결용이성 점수는 11점을 가지게 된다.

제5장 부품 및 볼트에 대한 조립시간

공정 순서에 따라 조립 공정 전에 속하는 조립시간인 놓여진 부품으로 손을 뺄쳐서 부품을 잡아, 운반 직전까지의 시간에 대한 잡음시간과 조립 공정 중에 속하는 조립시간인 잡혀진 부품을 체결점에 맞대기 쉽게 고쳐 잡는데 소요되는 시간의 취급시간, 부품이나 볼트의 체결점을 맞대는데 까지 소요 되는 시간의 접근 및 정렬시간, 볼트

영향요소		부품 및 볼트 특성에 따른 용이성 평가						
F ₁ = f(P _A , P _B , P _O , P _N , P _T) = P _A + P _B + P _O + P _N	조건	← 자유운동 (4), 부분제약(2), 완전제약(0)						
	제한	← 스패트(4) > 스몰(3) > 육각면(2) > +, - 드림(1)						
F ₂ : 체결용이성 평가치	구 별 부 품 별	사용가능 체결공구					용이성 점수	
		-자드 커치	+자드 커치	육각 플랫	스몰너	스패트 플랫		
					●	●	(2)	
			●			●	●	(3)
				●		●	●	(3)
				●		●	●	(4)
			●					(1)
		●				(1)		
	●	●				(2)		
P _A : 작업영역 점수		← 접촉면의 크기 순위 (- 자를 <+ 자를 < 육각를 < 육각머리) (1) (2) (3) (4)						
P _B : 체결공구 점수		← 한줄 나사 : (2) ← 두줄 나사 : (4)						
P _O : 구동부분 점수								
P _N : 볼트산 점수								

●: 관계없음, (): 용이성 점수

Fig 8 체결용이성에 대한 평가방법

가 체결 되어질 부품의 체결점으로 삽입되기 까지의 소요 시간을 고려한 삽입시간, 삽입된 볼트에 회전력을 가해 완전히 체결될 때까지 소요되는 시간의 체결시간으로 나누었다. 그리고 각 조립시간에 대한 합을 전체 조립시간으로 하였다.

예를 들어, 취급은 잡혀진 부품이 운반되면서 부품의 체결점 파악 및 부품간의 체결점을 맞대거나 볼트를 체결점에 삽입하기 위해 부품이나 볼트 등을 고쳐잡는 것으로 정의하였다. 그래서 취급 시간은 잡혀진 부품이 운반되면서 체결점을 파악하는 시간 (눈의 이동)과 잡혀진 부품을 특정 위치로 운반하는데 걸리는 시간 (운반), 부품이 운반되면서 체결을 위해 고쳐 잡는데 소요되는 시간 (미리 놓기)의 합으로 결정하였다. 그리하여 취급시간을 식(1)과 같이 나타내었다.

취급 시간 (T _H)	$\begin{aligned} & \text{체결점 파악 시간} + \text{운반(1)시간} + \text{미리놓기 시간} \\ & = (ET_A + ET_B) + (M_A + M_B + M_O + M_N + M_T) + \\ & (P_A + P_B + P_O + P_N + P_T) = \sum ET_i + \sum M_i + \sum P_i \end{aligned}$
-------------------------------	--

(1)

- ET_A, ET_B: 부품 A, B의 체결점을 바라보는 시간
- P_A, P_B, P_O, P_N, P_T: 부품 A, B, 볼트, 너트, 체결공구 고쳐 쥐는 시간
- M_A, M_B, M_O, M_N, M_T: 부품 A, B, 볼트, 너트, 체결공구 이동하는 시간

또한, 체결을 체결점에 삽입된 볼트에 회전력을 가하여, 볼트를 조이는 동작으로 정의하였기 때문에 체결 시간을 체결공구에 회전력을 가하는 시간 (회전, 크랭크)과 드라이버로 볼트를 최종적으로 조이는 동작 (누름)으로 나누어 식(2)와 같이 나타내었다.

체결시 간(T _J)	$\begin{aligned} & \text{회전 또는 크랭크 시간} + \text{누름 시간} \\ & = T_{TC} + T_{AP} \end{aligned}$
---------------------------	---

(2)

- T_{TC}: 체결공구에 회전력을 가하는 시간
- T_{AP}: 체결공구에 마무리 힘을 가하는 시간

제6장 부품 및 볼트 특성 요소에 따른 조립용이성과 표준 동작 요소

3장에서 결정된 표준 동작요소 및 각 변동 요인들과 4장에서 결정된 조립용이성 결정요소 및 영향요소들을 근거로 하여, 부품 및 볼트 특성요소에 따라 조립 용이성과 조립시간의 상관관계를 유도 하고자 하였다.

예를 들면, Fig. 9에서와 같이 '무게'는 표준 동작 중에서는 운반과 잡음동작이 관련이 있으며, 또한 조립용이성 결정요소 중에서는 놓임 안정성과 취급용이성이 상관이 있는 것으로 결정하였다.

본 논문에서는 많은 관계가 있는 요소 (●)에 대해서만 분석하였으며, 부품 및 볼트 특성요소에 대해서는 무게, 크기만 나타내었다.

6.1 조립 독립요소에 대한 조립용이성과 표준 동작

6.1.1 무게를 기준으로 한 관련 조립 용이성과 표준 동작

표준 동작 요소의 변동요인과 조립용이성 결정요소의 영향요소를 비교하여, 무게는 표준 동작 중에서는 운반 동작과 관련이 있으며, 또한 조립용이성 결정요소 중에서는 놓임 안정성, 취급용이성과 상관이 있는 것으로 결정하였다. 무게의 분류와 조립 시간에 대한 값은 MTM에서 분류되어진 각 기준을 이용하였으며⁽¹⁰⁾, 무게가 해당 조립용이성 요소인 놓임안정성과 취급용이성에 미치는 영향의 정도는

각 조립용이성 평가 방법에 의한 평가치로 하였다. 그리하여, 무게를 기준으로 한 조립용이성과 조립시간과의 관계는 Fig. 10과 같다.

6.1.2 크기를 기준으로 한 관련 조립용이성과 표준 동작

크기는 손가락으로 잡을 수 있는 크기, 한 손으로 잡을 수 있는 크기, 두손으로 잡을 수 있는 크기로 분류 하였기 때문에 MTM에서 제시된 크기와 일치하지 않는다. 그래서 잡음에 대한 표준 시간표와 맞추기 위해, 모형에 의한 실험을 통해, 손가락만으로 잡을 수 있는 크기를 주 치수가 1/2" - 1"이고, 지름이 3/16" - 1/2"로 결정하였으며, 부품 일부분만을 감싸 질 수 있는 크기를 주 치수가 4" 이상이며, 지름이 3/16" - 1/2" 로, 두 손이나 부품의 일부분만 잡을 수 있는 크기는 주 치수가 4"이상, 지름이 1/2" 이상으로 결정하여 잡음 표준 시간표를 이용하였다. 손가락 만을 이용하는 크기일지라도 세분된 범위에 따라 각기 다른 잡음 시간을 가질 수 있다 (Fig. 11). 크기는 Fig. 9에 의해, 조립시간의 면에서는 잡음 동작과 관련이 있으며, 조립용이성 면에서는 잡힘용이성과 관련이 있는 것으로 결정되었다.

제7장 조립용이성과 조립시간과의 관계

조립용이성과 조립시간과의 관계 파악은 조립독립요소

조립용이성									부품/볼트 특성 요소	조립시간 (MTM 및 Work Factory 표준동작)							
선정	배열	놓임	적재	전체	정밀/정확	취급	체질	공간		손잡이	잡음	운반	미리 놓기	표준조립	정치	회전	크립
●	●	○			●	○			무 게		○	●	○				
●	●	●	○	○	○			○	크기/표면 거칠기		●	○	○				
	●	●			○				소 재		●	●		○			
○	○	○			●			○	대칭성		●		●				
●	●	○			○	●	●		접촉상태	●	●			●			
				●				●	체결점 유도 요소	○				○	●		
						○	●		작업영역							●	●
			●						위험요소		●						
								●	체결점의 형상					●			
								●	볼트머리		●					●	●
								●	볼트산			●				●	●
								●	볼트끝	○						●	

● : 관계 많음, ○ : 관계적음

Fig. 9 부품 및 볼트특성 요소와 조립용이성에 있어 표준 동작과의 관계

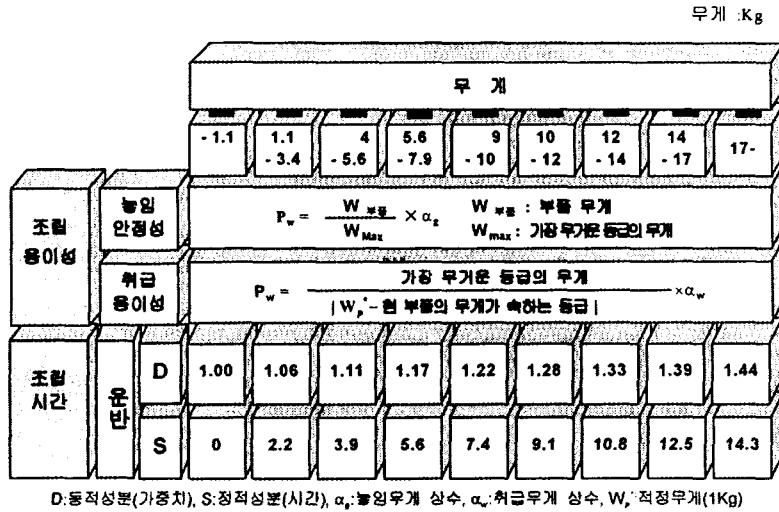


Fig. 10 무게에 대한 조립용이성과 조립시간의 관계

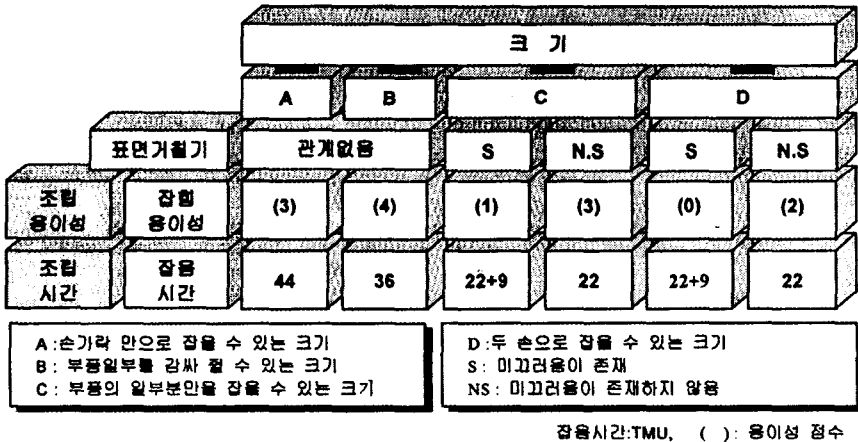


Fig. 11 크기에 대한 조립용이성과 조립시간의 관계

와 조립종속요소에 대해 이루어졌다. 본 논문에서는 조립 용이성 결정요소와 해당 조립 시간에 대한 전반적인 관계를 파악하기 위해 작업 조건을 한 사람의 작업자가 작업 대 위에 놓여진 두개의 부품을 집어와서 각각의 체결점을 맞대고 볼트를 삽입한 후 볼트에 체결력을 전달하여 볼트 작업 완료하는 것으로 가정하였다.

7.1 취급용이성과 취급시간

취급용이성과 관련이 있는 부품 및 볼트의 특성요소는

Fig. 6에 의해, 대칭성과 무게, 소재로 결정 되었으며, 취급시간에 대한 추정치는 부품 A, B, 볼트와 체결공구에 대한 '운반'시간과 부품 A, B 각각의 운반동작에 이용되는 무게 보정, 부품의 소재에 따른 운반에서의 소재 가중치, 그리고 부품 A, B의 형상(대칭성)에 대한 '미리놓기' 시간에 미리놓기 확률을 곱하여 구할 수 있다

취급용이성과 취급시간과의 관계는 Fig. 12와 같이 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 제품의 설계를 Fig. 12의 O¹의 경우에서 O²의 경우로 바꿈으로 인해,

본 논문에서 제시된 조립용이성 평가 및 조립시간 추정방법을 이용하여, 취급용이성 점수는 22.05점이 증가되며, 취급시간은 57.07 TMU시간을 단축할 수 있는 것으로 분석되었다. 취급용이성이나 취급시간의 변화량에 대한 취급시간이나 취급용이성의 변화량은 Fig. 12의 상단에 제시된 일차식을 이용해 결정된다.

7.2 체결용이성과 체결시간

체결용이성과 관련이 있는 부품 및 볼트의 특성요소는 작업영역, 체결에 사용되는 체결공구의 종류, 볼트의 구동 부분에 대한 사용이 가능한 체결공구의 갯수 및 체결공구와 볼트머리의 접촉면 크기 순위 및 볼트산의 종류로 결정되어진다. 그리고 체결시간의 추정은, 볼트의 구동 부분에 직접 회전력을 가하여 체결력을 전달하여 체결을 완료하기 까지 소요되는 시간으로, +, - 드라이버에 의한 동작인 '회전'시간, 스페너나 렌치에 의한 동작인 '크랭크'시간과 최종적으로 볼트를 죄는 동작인 '누름'의 합으로 결정하였다.

예를 들면, 육각머리 '-자홈 볼트에 스페너를 이용한 체결을 하는 경우에는 다음과 같이 체결 시간을 추정하였다. 한 줄 나사는 나사산이 8개인 경우에는 8회전에 의해 체결이 완료되며, 두 줄 나사는 4회전 만으로 체결이 완료된다. 그래서 두 줄 나사인 경우, 스페너에 의한 단속 크랭크 (부분제약, 완전제약의 경우)시간은 단속 크랭크 계산식에 '누름'시간을 첨가시켜, $\{((12.7 + 5.2) \times 1.11 + 3.9) \times 4 + 16.2\} \times 1.3 = 144.66$ (Fig. 13)이 된다. 이 식에서 1.3은 작업영역 중 완전제약인 경우의 작업시간에 대한 가중치이다⁽¹⁰⁾.

체결용이성 역시 Fig. 13과 같이 체결 시간과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났는데 조립용이성이 낮은 부분에 있어서는 산포가 큰 것으로 나타났다. 이것은 체결용이성 점수가 낮은 경우에는 체결 용이성과 체결 시간이 비교적 관련이 적은 것으로 결정되었다.

또한, 조립되는 부품을 O°의 경우 (볼트머리 : 둥근 머리 '-자홈, 사용체결공구 : '-자 드라이버, 볼트산 : 한 줄나사, 작업영역 : 부분제약)로 변경함으로 인해, O°에

대 칭		소재		무게		취급용이성	조립시간
A	B	A	B	A	B		
α=180° β=180°	철	철	0 - 1.1	1.1 - 3.4	17.44	77.72	
		플라스틱	0 - 1.1	1.1 - 3.4	15.44	79.64	
		유리	0 - 1.1	1.1 - 3.4	13.44	83.47	
	플라스틱	플라스틱	0 - 1.1	1.1 - 3.4	13.44	81.24	
		유리	0 - 1.1	1.1 - 3.4	11.44	85.07	
		유리	유리	0 - 1.1	1.1 - 3.	9.44	88.27

*A:부품 A, B: 부품 B

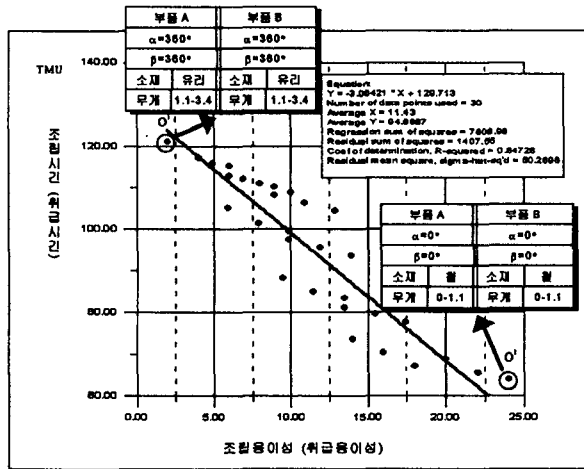


Fig. 12 취급용이성과 취급시간의 관계도

볼트 머리	복합 머리	볼트산	직업 영역	체결 용이성	체결시간 (TMU)
종이·121012봉	121012봉	면봉	자유운동	17	189
			부른제약	15	288.2
			완전제약	15	207.9
			완전제약	13	317.02
			완전제약	13	245.7
	121012봉	구봉	자유운동	11	72.2
			부른제약	20	82.26
			부른제약	20	87.8
			완전제약	18	111.28
			완전제약	18	114.8
			16	144.66	

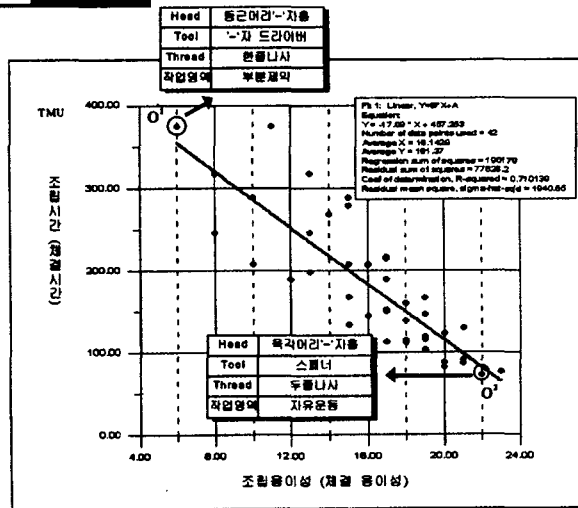


Fig. 13 체결용이성과 체결시간의 관계도

비해, 체결 용이성 점수가 16점이 증가될 수 있으며, 체결시간은 374.66 (TMU)에서 72.2 (TMU)로 302.46 (TMU)를 단축할 수 있는 것으로 분석되었다.

제8장 사례연구

본 시스템의 적용을 위해 사례에 이용된 부품은 컴퓨터의 하드디스크 드라이버와 본체 정면에 대한 고정 및 하드디스크의 상태를 나타내 주는 상태판으로 하였다.

설계 변경으로 인한 조립 용이성과 조립 시간 또는 비용의 변동을 파악하기 위해 부품 A (하드디스크 안내판)의 특징 요소를 대칭성이 α -대칭이 360° 인 것을 180° 로, 체결점의 형상을 접시형 구멍인 형태로 변경하였다. 부품 B (하드디스크 드라이버)에 있어서도, 부품의 표면에 미끌림이 없게 하였고, 체결점 유도 요소를 하나 더 추가하였다. 볼트 끝의 형상도 평끝에서 뾰족끝으로 변경하였다 (Fig. 14). 이러한 설계변경에 따른 전체 조립 용이성에

대한 분석 결과는 Visual Basic을 이용한 조립비용 추정 시스템에 의해 Fig. 14에서와 같이 총 조립 용이성 점수가 76점에서 86점으로 10점 증가되었고, 총 조립 시간은 758.94TMU에서 613.14TMU로 145.5TMU의 시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

전체 조립 용이성의 점수는 7가지 각 조립 용이성 결정 요소 (놓임 안정성, 잡힘 용이성 등)의 점수들의 합으로 결정하였으며, 총 조립 시간 또한 각 조립 간들의 합으로 결정하였다.

제9장 결 론

본 연구에서는 제품의 구성요소인 부품 및 볼트에 대한 결정이 있었으며, 볼트를 사용한 조립용이성을 향상 시키기 위해서 부품의 특성요소들과 볼트의 4대 구성요소들에 대한 특성이 파악되었다. 또한 조립 공정수행 시점을 조립 공정 전과 조립 공정 중으로 나누어, 조립용이성의 성질을 결정해 주는 요소들을 분석하였다. 이를 기초로

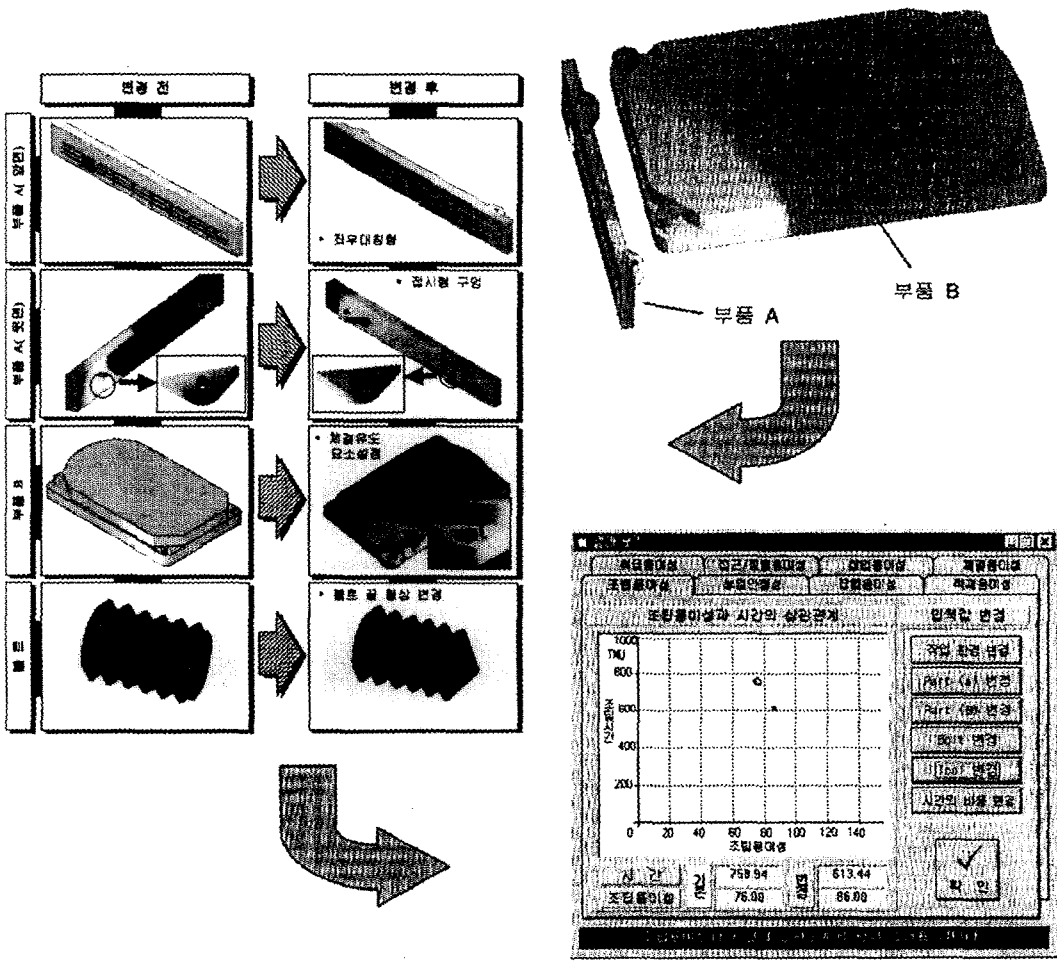


Fig. 14 사례연구의 대상 및 변경내용과 전체 조립용이성 및 조립시간에 대한 Output

부품 및 볼트의 특성요소와 조립용이성의 관계를 파악하였으며, 조립용이성 평가방법을 결정하였다.

또한 MTM 및 Work-Factor의 표준 동작요소와 부품 및 볼트의 특성요소와의 관계를 파악하여 표준시간을 결정하였다. 그리하여 부품 및 볼트의 특성요소를 기준으로 조립용이성과 조립시간과의 상관관계를 파악하였다. 여기에서 7가지 조립용이성 결정요소 중, 접근, 취급, 삽입, 체결용이성은 조립시간과 음의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 놓임 및 잡힘용이성에 대해서는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

이를 근거로, Visual Basic을 이용한 조립비용 추정시스템을 구축하였으며, 이를 사례 연구 (PC 하드디스크 드라이브 조립)에 적용시켜, 설계 변경에 따른 7가지 조

립용이성 결정 요소의 변화와 조립시간의 변동에 대해서도 분석하였다.

본 연구는 수조립에 의한 경우에 대해서 수행되었으므로, 개인에 따른 동작시간의 차이가 있을 수 있으며, 사람에 의한 작업이므로 균일한 작업을 수행할 수 없기 때문에 다소 조립시간에 대한 차이가 있을 수 있다. 그러나 자동 및 반자동 조립에 의한 경우에 까지 확장이 된다면, 보다 더 정확한 조립시간을 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구의 결과는 조립시간을 단축할 수 있는 요인을 파악할 수 있다. 특히, 볼트의 조립 요소들과 조립시 발생하는 비용 요소간의 상관관계를 평가할 수 있는 시스템은 생산비용을 줄일 수 있는 제품 개발 시스템의

기초 모듈이 될 수 있을 것이다. 또한, 추가적으로 제품 사용자 측면과 부품 및 조립군 재활용 측면 등의 연구가 계속적으로 진행된다면, 제품 설계를 위한 동시공학 시스템의 개발을 앞당길 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. S. Finger, M. S. Fox, D. Navinchandra, F. B. Prinz and J. R. Rinderle, *The Design Fusion Project: A Production Life-Cycle view for Engineering Designs*, Unpublished Report, Carnegie Mellon University, May 1988.
2. B. Evans, *Simultaneous Engineering*, Mechanical Engineering, Feb. 1988.
3. W. Eversheim, M. Hartmann, M. Linnhoff, *Zukunftsperspektive Demontage*, VDI-Z, 1992, Nr.6-Juni
4. C. Hentschel, G. Seliger and E. Zussman, *Grouping of used product for cellular recycling system*, CIRP, Vol. 44, 1995.
5. G. Boothroyd and P. Dewhurst, *Product Design for Assembly : Manual Assembly*, Machine Design, Vol.10, pp. 94-98, 1993.
6. B. Scott and M. Husband, *Robotic Assembly : Design, Analysis and Economic System*, The SME 13th ISIR/Robots 7 conference, April 1983.
7. E. Gustavson, *Choosing Manufacturing System Based on Unit Cost*, The SME 13th ISIR/Robots 7 conference, April 1983.
8. W. Wai-Chung Chow, *Cost Reduction in Product Design*, Van Nostrand Reinhold Company, 1978.
9. 한국 공업 규격 KSB 0101
10. 황학, *작업 관리론*, 영지 문화사, 1992.
11. J. H. Quick, J. H. Duncan and J. A. Malcolm, Jr, *Work-Factor Time Standards*, Mcgraw-Hill, 1962.
12. P. Tres, *Designing Plastic Parts for Assembly*, Hanser Publishers, 1995.
13. K. Ulrich, and S. Eppinger, *Product Design and Development*, Mcgraw-Hill, 1995.
14. B. Lotter and W. Schilling, *Manuelle Montage*, VDI-Verlag, 1994.
15. 목학수, 김경운, 이재철, *나사작업에 있어서의 조립형상 특징을 기초로한 조립용이화 제품 설계 전문가 시스템 개발*, 대한 산업공학회지, 제 20권, 4호, pp 153-180, 1994.
16. 목학수, 김형주, 문광섭, 양태일, *자동차 부품의 조립용이성과 분리용이성*, 한국학술진흥재단 보고서, 1996. 5