

이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

## 볼트 형상에 대한 조립용이성 평가 시스템 -볼트의 놓임안정성 및 취급용이성을 중심으로-

목 학 수,\* 김 경 윤,\* 이 재 철\*

## Evaluation System of Assemblability in Bolt Feature -Stability of Laying and Handlability of Parts-

Hak-Soo Mok,\* Gyong-Yun Kim,\* Jae-Cheol Lee\*

### ABSTRACT

The assemblability was determined by the structure of product and the relationship between composing parts and machining parts. In this paper, the bolt was divided into bolt-head, -shaft, -thread and -end. For the better assemblability in bolting process, the geometric and technological characteristics of bolts in terms of pre- and in-assembly process were analyzed. And this paper presents assemblability evaluation for bolt feature design alternatives. For this evaluation system, we considered systematically eight factors for assemblability, but introduced two factors for the stability of laying and for the handlability of parts. And AutoCAD system is interfaced with the evaluation system written in C-language.

### 1. 서 론

#### 1.1 볼트에 관한 연구의 필요성

조립될 제품은 여러 종류의 체결 요소들에 의해 결합되어 있다. 제품의 결합에 이용되는 체결 방법은 크게 리벳, 용접, 납땜, 점착과 같은 영구체결과 Bolting, Screwing, Stud bolt, Pin 체결, Key 체결, 스냅 체결 등과 같은 분리가능체결이 있다. 이러한 체결 방법중 조립시스템에서 조립의 주기능을 수행하는 볼트는

사용빈도가 다른 체결요소에 비해 상당히 높을 뿐만 아니라,<sup>(1)</sup> 체결과 분리가 수월하고 표준화가 되어 있으며, 볼트를 사용하지 않는 제품이 없을 정도로 사용범위가 넓다. 또한, 체결력이 우수하고 여러가지 장점들을 가지고 있다. 그러므로, 조립 생산성 향상을 위해서는 볼트를 대체할 수 있는 새로운 체결 방법을 개발하거나 조립용이성이 향상될 수 있도록 볼트의 형상을 개선해야 한다. 따라서, 볼트의 형상과 조립용이성과의 관계를 분석함으로써, 볼트에 대한 비전문가도 볼트의 조립용

\* 부산대학교 산업공학과

이성을 평가함으로써 볼트를 이용한 조립 공정에 적합한 볼트를 선택할 수 있도록 도와주는 시스템의 개발이 필요하다.

### 1.2 기존의 조립평가에 대한 고찰

조립용이성을 고려한 설계는 주로 제품설계자들에게 도움을 줄 수 있는 일반적인 예와 지침서 등을 통하여 이루어져 왔다. 최근에 조립을 위한 설계의 관심은 조립작업의 생산성을 향상하기 위한 설계대안의 작성 및 이들에 대한 평가에 중점을 두고 있는 실정이다. 조립용이성 평가는 일반적으로 시제품(Prototype)으로 구성되어진 완성된 제품에 의해 이루어지지만, 개념설계 단계에서 설계 구조에 대한 분석을 통해서도 조립용이성에 대한 평가가 가능하다.<sup>12)</sup> Fig. 1은 현재까지 연구된 조립용이성을 평가하는 방법들에 대한 내용을 보여주고 있는데, 일본의 히타치사에서 개발한 AEM (Assemblability Evaluation Method), Boothroyd Dewhurst Inc.에 의한 DFA 방법, Lucas Method, 일본 소니사에서 개발한 DAC(Design for

Assembly Cost Effectiveness) Method 등이 있다. 이러한 평가방법들 중 설계의 취약점을 분석하기 위해 조립용이성과 조립비용의 비를 이용하여 조립용이성을 정량적으로 평가하는 AEM과 CAD 시스템과 지식베이스를 결합하여 조립기능 분석을 수행하는 Lucas Method는 수조립 및 자동조립에 대해 구별하지 않는 데 비해, 부품수의 최소화와 부품설계의 최적화를 통해 조립시간과 조립비용을 줄이려는 데 기본원칙을 두고 있는 Boothroyd Dewhurst DFA Method는 수조립, 자동조립, 로봇조립을 구별하여 조립용이성을 분석하고 부품설계를 개선하고 있다. 이러한 조립용이성의 정도는 수조립, 반자동조립, 자동조립에 따라 그 평가 정도가 달라질 수가 있다. 그러나 수조립과 자동조립의 조립용이성은 높은 상호연관성을 가지므로, 본 논문에서 개발한 볼트의 조립용이성 평가시스템은 수조립과 자동조립에 용이한 정도를 기준으로 각 기준들의 평가에 중점을 두고 있다.

조립평가시스템	내용 및 특징	저자	연도
Boothroyd Dewhurst DFA method	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단순하고 정밀한 제품구조를 만들기 위한 체계화된 Design 분석 절차</li> <li>• 부품수의 최소화, 부품설계의 최적화를 통해 조립시간과 조립비용을 최소화</li> <li>• 절차:조립방법 선택→조립 분석→Design 개선</li> <li>• 수조립(Manual Assembly), 자동조립(Automatic Assembly), 로봇조립(Robot Assembly)을 구별</li> </ul>	Boothroyd,G. and Dewhurst,P.	1980 [3]
AEM (Assemblability Evaluation Method)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조립성을 정량화</li> <li>• 20개의 symbol(Assembly Operation) 사용</li> <li>• Assembly Evaluation Score(E), Assembly Cost Ratio(K)에 의해 조립성 평가</li> <li>• 수조립과 자동조립을 구별하지 않음</li> </ul>	Miyakawa,S. and Ohashi,T.	1986 [4,5]
Assembly-Oriented Product Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 절차:부품들의 조립의 난이도, 기능치(functional value)를 평가→평점(rating) 부여→재설계를 위한 지침으로 사용</li> </ul>	Warnecke,H.J. and Kroll,L.	1988 [6]
Lucas Method	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD 시스템과 지식베이스가 결합된 접근방법</li> <li>• Boothroyd DFA의 기본원칙인 "부품수의 최소화"를 적용</li> <li>• 수조립과 자동조립에 대한 뚜렷한 차이점이 없음</li> <li>• 결과:조립작업에 있어서 Diagramatic Structure 구조를 보여줌</li> </ul>	Lucas	80년대 후반 [2]
DAC(Design for Assembly Cost Effectiveness)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개념설계 단계에서 조립을 위한 설계를 고려</li> <li>• DAC Diagram 사용</li> <li>• Knowledge-based Computer System 사용</li> </ul>	Yamagiwa,Y.	1988 [7]
New AEM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 치수의 정확성, 형태의 정확성, 부품들의 크기, 공정의 반복, 나사의 길이 등의 영향을 고려</li> <li>• 분석과 평가에 있어 사용자의 주관적 영향을 감소</li> </ul>	Miyakawa,S. 외 2인	1990 [8]
MOSIM (A Knowledge-based and Graphical interactive system)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제품설계는 생산공정설계(Production Process Design), 생산공정평가 (Production Process Evaluation)와 같이 개발되어야 함</li> <li>• CAD 모델에 기초한 Design의 조립공정과 조립순서를 평가하고 결정</li> <li>• 제품과 그 형상에 의해 평가하는 것이 아니라 feeding, handling, 조립공정에 따라 평가됨</li> <li>• 3-D Solid CAD 모델 사용</li> </ul>	Angermuller,G. and Moritzen,K.	1990 [9]

Fig. 1 기존의 조립용이성 평가에 대한 고찰

## 2. 볼트 조립공정 및 조립용이성

본 연구에서는 조립시스템 하에서의 볼트체결 공정을 조립수행 순서 및 시점에 따라 운반, 정렬, 검사와 같은 조립의 부기능을 수행하는 조립공정 전과 실제 볼트 체결 작업이 일어나는 조립공정 중으로 나누어 볼트의 특성을 파악하였다. 즉, 조립공정 전에서는 조립의 부기능을 수행하기 위해 볼트가 어떠한 구조가 되어야 하는 지가 고려되어야 하고, 조립공정 중에서는 작업장에 투입된 볼트가 조립기능 수행체에 의해서 조립 주기능을 수행할 때 볼트에 미치는 여러가지 특징들이 파악되어야 한다. Fig. 2는 볼트 조립공정의 수행시점 및 수행순서에 따른 8가지 조립용이성을 보여주고 있다.

볼트 체결시간을 단축시켜 조립생산성을 향상시키기 위해서는 각 조립공정에서 요구되는 사항을 고려하여 조립용이성이라는 관점에서 볼트를 재설계 할 필요가 있다. 조립용이성이라 함은 조립기능 수행체 - 조립작업자, 기계 - 부품의 조립기능을 수행할 때 조립하

기 쉬운 정도를 말한다.<sup>(10)</sup>

따라서 본 논문에서는 조립공정의 수행시점에 따라 조립용이성을 조립공정 전과 조립공정 중으로 나누어 고려하였으며, 이러한 조립용이성을 조립공정 전에서는 볼트를 운반할 때의 놓임안정성 및 운반용이성, 운반되어온 볼트의 정렬용이성 및 검사용이성 등에 의해, 조립공정 중에서는 볼트의 취급을 쉽게 하기 위한 취급용이성, 체결될 요소들의 접근 및 삽입용이성, 그리고 체결이 수행되는 동안의 체결용이성 등에 의해 결정하였다.<sup>(11)</sup> 이에 덧붙여, 볼트의 정적, 동적 성질들로부터 조립공정 전에서는 볼트 형상 자체의 특성, 조립공정 중에서는 볼트의 형상과 제품 형상과의 관계들을 고려하여 볼트의 구성요소들인 볼트머리, 볼트축, 볼트산, 볼트끝을 결정하였다. 여기에서 정적성질은 볼트의 형상, 기하학적 요소, 특성 형상요소, 물리적 성질과 같은 볼트 자체의 고유한 성질로서 조립공정 중에 제품속의 다른 요소와의 상관관계가 고려됨이 없는 특성을 말하며, 동적성질이란 위치의 안정성, 방향성, 자유도와

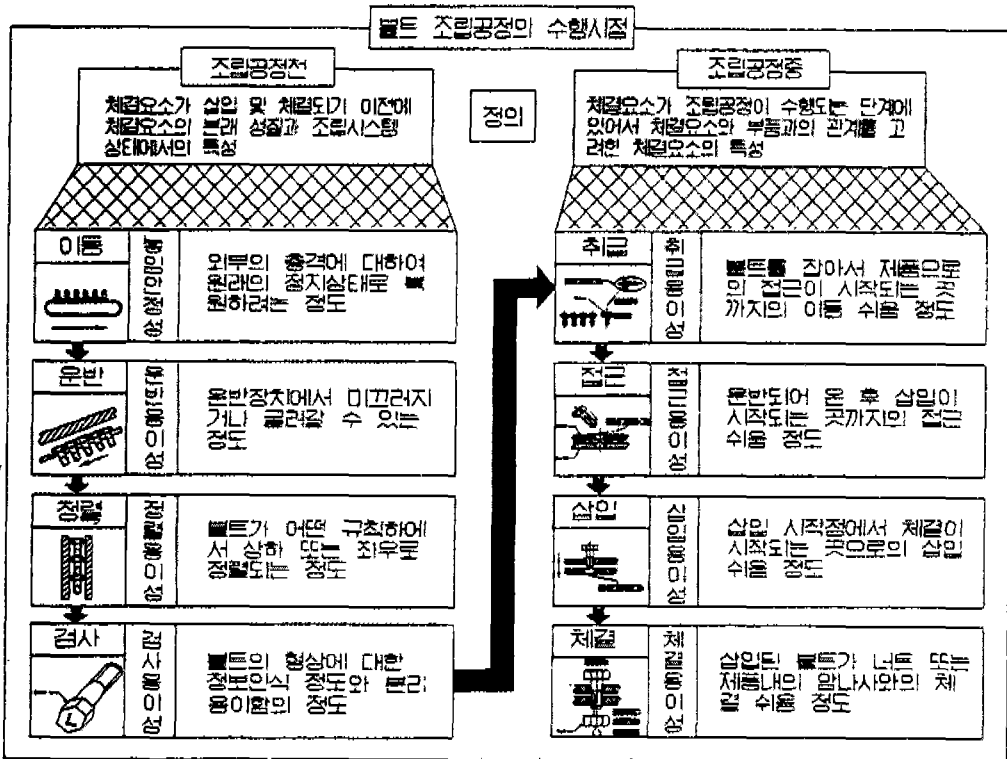


Fig. 2 볼트 조립공정의 수행시점 및 수행순서에 따른 조립용이성의 정의

같은 정지성질과 미끄럼성, 글림성과 같은 운동성질들을 말하는 것으로, 조립공정이 수행되는 동안에 체결될 부품과 체결요소와의 상관관계를 고려하여 결정되는 것을 말한다.

따라서 볼트의 세분화된 8가지 조립용이성 결정요소를 결정하는 세부요인들은 볼트의 특성요소 및 볼트 체결 측면에서 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. 예를 들어, 놓임안정성을 결정 짓는 세부요인으로는 부품의 놓임상태, 접촉상태, 안정자세 등이 있으며, 부품의 놓임상태가 바닥면과 수평을 이루고, 면접촉을 할수록, 또한 안정자세 확률이 높을수록 놓임안정성이 좋다. 그러나 본 논문에서는 조립공정 전의 놓임안정성과 조립공정 중의 볼트의 취급용이성을 중심으로 연구의 내용이

수록되었다. 또한 8가지 조립용이성 결정요소에 대한 자세한 내용은 참고문헌 (12)을 참고하기 바란다.

### 3. 볼트의 조립용이성 평가시스템의 개발

#### 3.1 볼트의 조립용이성 평가 단계

Fig. 4는 볼트의 조립용이성을 평가하는 절차를 보여주고 있다. AutoCAD에서 사용자가 입력한 조립공정, 조립기능 수행체, 조립될 부품, 볼트의 형상과 치수에 대한 정보로 기존의 볼트 및 각 설계대안에 대한 8가지 조립용이성 결정요소에 대하여 순차적으로 평가하여 볼트의 전체적인 조립용이성을 구하고 사용자가 분석할 수 있도록 그 결과를 화면상에 막대그래프로 출

수행시점	조립용이성	세부결정요인	특성	
조립공정전	놓임안정성	놓임상태	· 바닥면과 볼트의 축이 수평인지 수직인지에 따라 안정성에 영향을 받음	
		안정자세	· 안정자세 확률이 높을수록 그 자세를 유지하려는 성질이 높음	
		접촉상태	· 볼트의 접촉형상, 접촉형태, 접촉면적이 영향을 미침	
	운반용이성	미끄럼성	· 볼트의 형상 종류 및 재질에 따라 영향을 받음 · 미끄러지는데 요하는 시간이 짧을수록 좋음	
		울림기능성	· 보조장치 유무를 고려한 볼트의 형상에 따라 영향 받음 · 구르는데 걸리는 시간이 짧을수록 좋음	
	정렬용이성	정렬형상	· 형상이 둥근 형태일수록 운반 용이	
		정렬성	· 정렬난이도와 정렬방식에 따라 결정 · 정렬난이도=요구되는 각회전수+비대칭면의 수	
		형상의 복잡도	· 볼트축 형상의 stop 정도와 볼트체결시 사용되는 와셔의 유무에 의해 영향을 받음	
	검사용이성	검침성	· 볼트의 자동공급시 overlap, jamming의 발생 방지	
		정보관별성	· 볼트에 대한 정보 파악의 용이함	
	조립공정중	취급용이성	위치검출 및 분리용이성	· 볼트 형상:비대칭 } 일수록 용이함 · 볼트축 형상:단순
			잡힘성	· 그리퍼와의 접촉형태, 재질 등에 의해 결정됨
접근용이성		접근성	· 제품의 기하학적 형태 및 삽입방향, 볼트축 형상에 따라 결정	
		위치결정 허용도	· 체결요소가 조립될 부품에 접근할 때 삽입을 위한 여유공간으로의 접근을 위한 오차	
삽입용이성		끼움성	· 삽입이 시작되기 직전의 끼움 쉬움 정도	
		삽입성	· 너트와 제품이 요구하는 나사산의 최적길이에 의해 결정	
체결용이성	체결시간	· 와셔의 일체화 유무 및 나사산의 종류에 따라 결정		
	체결조건	· 볼트끝의 치구화, 공구의 유용도, 토크의 최적성 등에 의해 영향을 받음		

Fig. 3 8가지 조립용이성 결정요소의 세부요인

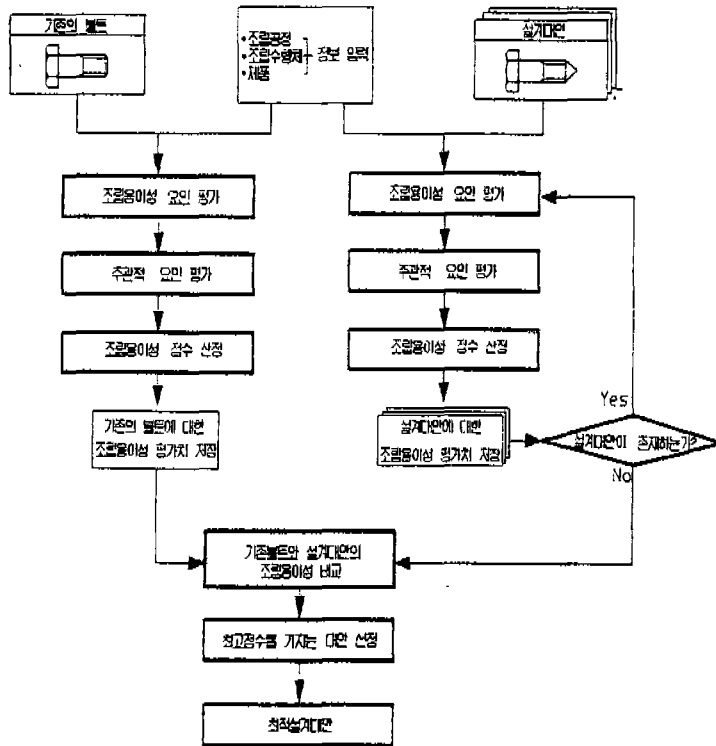


Fig. 4 조립용이성 평가 절차

력한다. 이러한 평가분석시스템은 C-언어로 구성되어 있으며, 평가시스템과 AutoCAD와의 연결은 AutoLISP를 이용하였다.

본 연구에서 개발한 조립용이성 평가시스템에서의 조립용이성은 볼트의 기하학적 형상이나 기능, 치수 외에 조립공정, 조립기능 수행체, 제품의 구멍형상 등에 의해 평가되는데, 평가점수 산정방법은 먼저 조립용이성을 위한 볼트설계에 영향을 주는 요인들을 평가하기 위해 조립용이성 요인과 주관적 요인으로 나눈다.

조립용이성 요인은 앞에서 고찰했듯이 조립공정 전의 조립용이성 결정요소인 놓임안정성(S), 운반용이성(T), 정렬용이성(O), 검사용이성(C)과 조립공정 중의 결정요소인 취급용이성(H), 접근용이성(A), 삽입용이성(I), 체결용이성(F)을 들 수가 있다. 주관적 요인은 조립시스템과 조립용이성과의 관계를 정량적으로 파악하기가 어려우므로, 정성적인 형태로 분석자의 주관에 의해 조립시스템을 구성하고 있는 조립대상, 조립기능 수행체, 조립공정 등과 관련하여 비율을 구한 후 각 비율에 따른 요소별 실제 조립용이성 평가점수를 구한다. 이렇게

구해진 각 요소별 조립용이성 평가점수를 합하여 전체 조립용이성 평가점수를 산정한 다음 기존의 볼트와 볼트설계 대안의 전체 조립용이성 평가점수를 비교하여 점수가 높은 대안을 최적으로 결정한다. 또한 본 논문에서는 조립용이성 평가치를 실험 및 기타 자료를 통해서 참조하여 볼트의 조립용이성을 평가하는 절차를 크게 4단계로 나누어 평가하였으며, 각 단계별 내용은 다음과 같다.

- 단계 1: 조립용이성 요인 평가
- 단계 2: 주관적 요인 평가
- 단계 3: 볼트의 조립용이성 평가점수 산정
- 단계 4: 대안 선정

### 3.1.1 조립용이성 요인 평가

기존의 볼트 및 조립용이성을 고려한 볼트의 각 설계 대안들에 대하여 각 요인에서 정한 세부 평가기준에 의해 결정된 산출식에 의하여 8가지 요소별 조립용이성 평가점수를 산정한다. 따라서 조립공정 수행 시점에 따라 조립공정 전과 조립공정 중으로 나누어 조립용이성

을 평가하며, 평가방법은 다음과 같다. 단 여기서 각 요소의 세부 결정요인들을 5점 만점으로 가정하고 최적의 조건일 때는 5점을, 최악의 조건일 때는 1점을 부여하며, 나머지의 경우는 등급점수 또는 산술식에 의한 점수를 부여한다.

조립용이성을 평가하기 위해서는 조립공정 전과 조립공정 중에서 조립용이성에 영향을 주는 요소들에 대한 분석이 필요하다.

조립공정 전에서는 놓임안정성, 운반용이성, 정렬용이성 그리고 검사용이성에 대한 요인 분석이 되어야 한다. 그러나 본 논문에서는 조립공정 전에서는 조립용이성을 결정하는 요소 중 놓임안정성을 평가하는 방법을 제시하였다. (Fig. 5)

여기서 놓임안정성을 결정하는 세부요인은 접촉상태, 안정자세 등이 있다. 첫째, 안정자세는 안정자세 확률이 높을수록 그 자세를 유지하려는 성질이 높다. 이러한 안정자세는 Fig. 6과 같이 L/D비와 볼트의 작업시 놓임상태, 그리고 볼트머리의 有無에 의해 영향을 받는다. 이때 조립공정 전 볼트가 놓일 수 있는 형태는 수직 또는 수평 상태이기 때문에 놓임안정성의 안정자세

에 대해서 볼트를 수직 또는 수평으로 놓인다고 보고, 수직/수평으로 놓일 확률도 고려하였다. 우선 머리가 달린 볼트는 수직/수평으로 놓일 확률이 하나의 직선으로 형성된다고 가정하였기 때문에 이를 평가점수로 환산하면, 확률 그래프는 평가점수 그래프와 동일하게 될 것이다. 다만 Y축이 확률이 아니고 평가점수가 된다는 것만 다를 뿐이다. 그리고 머리가 없는 볼트는 수직/수평으로 놓일 확률은 L/D비에 따라 두가지의 직선을 가지므로 이 확률에 따라 다시 평가치로 환산한 것이 Fig. 5에 제시되어 있다. 예를 들어, 볼트축이 바닥과 수평을 이루는 놓임상태인 경우 L/D비가 3.0이상이면 최고점수(5점)를 부여하고, 0.5미만이면 최저점수(1점)를 부여한다. 또한 L/D비가 0.12초과 0.47미만인 경우에는 직선비례에 의한 보간법을 적용하여 다음과 같이 결정된다.

$$\text{안정자세 (S}_1\text{)} = 1.6 \times L/D\text{비} + 0.2$$

또한 볼트머리가 없는 경우에는 L/D비에 의한 안정자세 확률을 구한 후 이 값을 5점 만점으로 전환하였을

결정요소	세부요인	평가점수 산정방법	계 산 식		
놓임안정성	안정자세 (S <sub>1</sub> )	• 안정자세 확률 적용 (볼트의 놓임상태 및 L/D 비에 의한) ⇒ 확률이 높을수록 그 자세를 유지하려는 성질이 높음	볼트머리 有	$\begin{cases} L/D \geq 3 & \Rightarrow S_1 \sim \text{최고점수}(5\text{점}) \text{ 부여} \\ 0.5 < L/D < 3 & \Rightarrow S_1 = 1.6 \times L/D + 0.2 \text{ (보간법 적용)} \\ L/D \leq 0.5 & \Rightarrow S_1 \sim \text{최저점수}(1\text{점}) \text{ 부여} \end{cases}$	
			볼트머리 無	$\begin{cases} L/D \leq 0.5 & \Rightarrow S_1 \sim \text{최고점수}(5\text{점}) \text{ 부여} \\ 0.5 < L/D < 3 & \Rightarrow S_1 = -1.6 \times L/D + 5.8 \text{ (보간법 적용)} \\ L/D \geq 3 & \Rightarrow S_1 \sim \text{최저점수}(1\text{점}) \text{ 부여} \end{cases}$	
	(S)		접촉상태 (S <sub>2</sub> )	볼트머리 有	$\begin{cases} L/D \geq 2 & \Rightarrow S_1 \sim \text{최고점수}(5\text{점}) \text{ 부여} \\ 1 \leq L/D < 2 & \Rightarrow S_1' = 0.52 \times L/D + 0.18 \text{ (보간법 적용)} \\ & S_1 = 5 \times S_1' / 0.9 \\ 0.5 \leq L/D < 1 & \Rightarrow S_1' = 0.2 \times L/D + 0.5 \text{ (보간법 적용)} \\ & S_1 = 2.44 \times S_1' / 0.44 \\ L/D \leq 0.5 & \Rightarrow S_1 \sim \text{최저점수}(1\text{점}) \text{ 부여} \end{cases}$
				볼트머리 無	$\begin{cases} L/D < 0.5 & \Rightarrow S_1 \sim \text{최고점수}(5\text{점}) \text{ 부여} \\ 0.5 \leq L/D < 1 & \Rightarrow S_1' = -0.52 \times L/D + 0.82 \text{ (보간법 적용)} \\ & S_1 = 5 \times S_1' / 0.56 \\ 1 \leq L/D < 1.95 & \Rightarrow S_1' = -0.2 \times L/D + 0.5 \text{ (보간법 적용)} \\ & S_1 = 0.89 \times S_1' / 0.1 \\ L/D \geq 1.95 & \Rightarrow S_1 \sim \text{최저점수}(1\text{점}) \text{ 부여} \end{cases}$
놓임안정성 평가식			$S = S_1 + S_2$ (S <sub>1</sub> ' = L/D 비에 의한 안정자세 확률)		

Fig. 5 놓임안정성의 조립용이성 평가

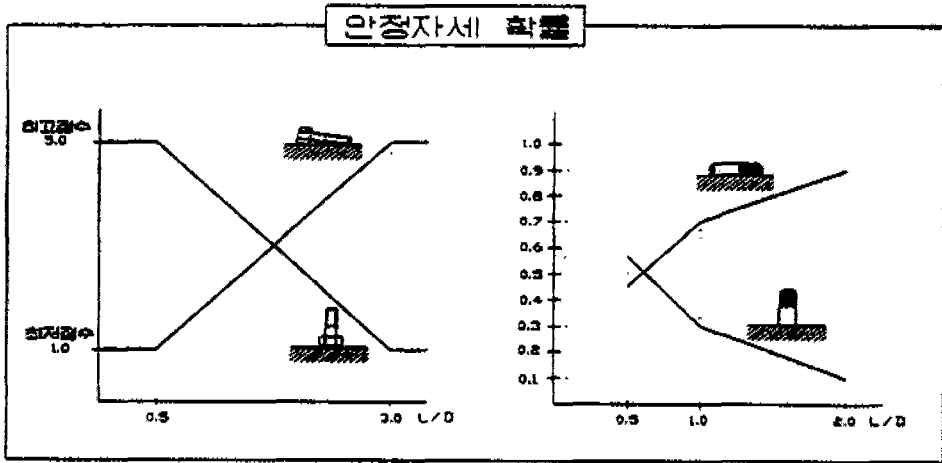


Fig. 6 L/D비와 안정자세<sup>(13)</sup>

때의 안정자세 점수를 계산한다.

둘째, 접촉상태는 볼트의 접촉형태에 의해 영향을 받는다. 예를 들어, 볼트머리 또는 볼트축이 표면과 접촉할 때 볼트의 놓임상태가 수평시에는 선접촉을 이룰수록, 수직시에는 면접촉을 이룰수록 높은 점수를 부여한다. 즉 접촉형태가 안전하면 5점을, 보통이면 3점을, 불안하면 1점을 부여한다. 이 접촉상태는 우선 볼트머리의 유무에 따라서 나눌 수 있다. 볼트머리가 있으면서 수평상태로 놓이는 경우에 대해서는 4각, 6각, 둥근머리를 고려하였다. 4각은 상대적으로 6각과 둥근머리에 비해서 수평면(바닥면)과의 접촉상태가 안정하기 때문에 최고점수 5점을 부여했고, 다음으로 4각은 둥근머리보다 접촉상태가 안정하므로 3점을 부여하였습니다. 그리고 마지막으로 둥근머리는 가장 불안정하므로 최저점수 1점을 부여하였다. 볼트머리가 있으면서 수직으로 놓이는 상태에서는 다음과 같다. 볼트머리가 있는 볼트가 수직으로 놓일 수 있는 확률은 머리가 있는 쪽으로 세워질 수 있는 확률보다 볼트의 끝부분으로 세워질 수 있는 확률보다 상당히 높기 때문에 면접촉은 최고 점수 5점을 부여하였고 선접촉일 경우는 1점을 부여했다.

그리고 볼트머리가 없이 수평으로 놓일 경우 선접촉이 안정하므로 3점을 부여했고 점접촉은 불안하므로 1점을 부여하였으며, 볼트머리가 없이 수직으로 놓일 경우 볼트가 면접촉을 하면 안정하므로 3점을, 볼트의 끝부분이 뾰족한 형상을 가진 경우는 상당히 불안하므로 이때는 1점을 부여하였다.

따라서 놓임안정성 평가식은 안정자세, 접촉상태에

의해 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$S = S_1 + S_2$$

- S : 놓임안정성 요소의 조립용이성 평가점수
- S<sub>1</sub> : 안정자세에 의한 놓임안정성의 정도
- S<sub>2</sub> : 접촉상태에 의한 놓임안정성의 정도

한편, 조립공정 중에서의 조립용이성은 조립될 부품의 취립용이성, 접근용이성, 부품 및 조립군 속으로의 삽입용이성 그리고 체결용이성도 앞에서 보여준 기법과 비슷하게 부분 조립용이성을 평가할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 Fig. 7과 같이 조립공정 중에서 조립용이성을 결정하는 요소 중 취립용이성을 평가하는 방법만을 제시하였다. 취립용이성을 결정하는 세부 결정요인으로는 잡힘성이 있다. 이러한 잡힘성은 Gripper와의 접촉형태 및 볼트의 재질, 볼트머리 옆면의 표면거칠기 등에 의해 영향을 받는다. 즉 Gripper와 볼트간의 접촉형태가 면접촉 및 2선이상의 점접촉일수록 볼트를 확실하게 잡을 수 있으며, 볼트의 재질이 비철금속보다는 철금속일수록 자기성을 띤 공구를 사용할 수 있으므로 취립성이 좋다. 또한 볼트머리 옆면의 표면거칠기가 거칠수록 작업자가 볼트를 쥘 때 미끄러지지 않으므로 잡기가 쉽다. 그러나 체결용이성 역시 정량적인 파악이 어려우므로 평가기준에 따라 등급을 정하여 이에 상응하는 점수를 부여함으로써 평가할 수 있다. 예를 들어, 볼트와 Gripper가 면접촉 또는 2선이상의 접촉을 하

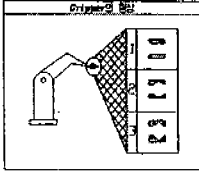
결정요소	세부요인	평가점수 산정방법	계산식		
			등급	평가기준	점수
취급용이성 (H)	잡힘성 (H <sub>1</sub> )  [그리퍼의 형상] • 그리퍼와 볼트간의 접촉형태가 면 접촉 또는 2선이상의 점접촉인수록, 볼트의 재질이 자기성을 띠수록, 볼트머리의 옆면이 Coarse 할수록 잡힘성이 좋으므로 높은 점수를 부여 • 등급간격점수 =(최고점수-최저점수)÷(등급갯수-1) =(5-1)÷(12-1)=0.36	1	• 그리퍼의 형상: ① 또는 ② 또는 ③ • 볼트와 그리퍼의 접촉: 면접촉 또는 2선이상 접촉 • 볼트의 재질: 철강속, 볼트머리 옆면: Coarse	5.0'	
		2	• 그리퍼의 형상: ① 또는 ② 또는 ③ • 볼트와 그리퍼의 접촉: 면접촉 또는 2선이상 접촉 • 볼트의 재질: 철강속, 볼트머리 옆면: Smooth	4.64	
		3	• 그리퍼의 형상: ① 또는 ② 또는 ③ • 볼트와 그리퍼의 접촉: 면접촉 또는 2선이상 접촉 • 볼트의 재질: 스테인레스 또는 비철강속, 볼트머리 옆면: Coarse	4.28	
		4	• 그리퍼의 형상: ① 또는 ② 또는 ③ • 볼트와 그리퍼의 접촉: 면접촉 또는 2선이상 접촉 • 볼트의 재질: 스테인레스 또는 비철강속, 볼트머리 옆면: Smooth	3.92	
		5	• 그리퍼의 형상: ① • 볼트와 그리퍼의 접촉: 1선 접촉 • 볼트의 재질: 철강속, 볼트머리 옆면: Coarse	3.56	
		6	• 그리퍼의 형상: ① • 볼트와 그리퍼의 접촉: 1선 접촉 • 볼트의 재질: 철강속, 볼트머리 옆면: Smooth	3.20	
		7	• 그리퍼의 형상: ① • 볼트와 그리퍼의 접촉: 1선 접촉 • 볼트의 재질: 스테인레스 또는 비철강속, 볼트머리 옆면: Coarse	2.84	
		8	• 그리퍼의 형상: ① • 볼트와 그리퍼의 접촉: 1선 접촉 • 볼트의 재질: 철강속, 볼트머리 옆면: Smooth	2.48	
		9	• 그리퍼의 형상: ①이고 점접촉, ② 또는 ③이고 선접촉 • 볼트의 재질: 철강속, 볼트머리 옆면: Coarse	2.12	
		10	• 그리퍼의 형상: ①이고 점접촉, ② 또는 ③이고 선접촉 • 볼트의 재질: 철강속, 볼트머리 옆면: Smooth	1.76	
		11	• 그리퍼의 형상: ①이고 점접촉, ② 또는 ③이고 선접촉 • 볼트의 재질: 스테인레스 또는 비철강속, 볼트머리 옆면: Coarse	1.40	
		12	• 그리퍼의 형상: ①이고 점접촉, ② 또는 ③이고 선접촉 • 볼트의 재질: 스테인레스 또는 비철강속, 볼트머리 옆면: Smooth	1.0	
취급용이성 평가식	H = H <sub>1</sub>				

Fig. 7 취급용이성의 조립용이성 평가

고, 볼트의 재질이 철강속이고 볼트머리 옆면의 표면이 거칠면 체결작업시 볼트에 대한 취급성이 좋으므로 최고등급(1등급)을 주고 5점을 부여한다. 또한 Gripper와 볼트간의 접촉형태가 점접촉 또는 선접촉이고, 볼트의 재질이 스테인레스 또는 비철강속이며, 볼트머리 옆면의 표면거칠기가 깨끗하면 취급성이 가장 안좋으므로 최저등급(12등급)을 주고 1점을 부여한다. 그리고 최고등급과 최저등급 사이의 등급에 해당하는 점수는 각 상위등급에서 등급간격점수(0.36점)를 감하여 구한다. 예컨대, 2등급의 점수는 5점에서 0.36점을 감한 4.64점이다.

따라서 이러한 모든 요인들을 고려하여 취급용이성을 평가하는 평가식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H = H_1$$

- H : 취급용이성 요소에 의한 조립용이성 평가점수
- H<sub>1</sub> : 잡힘성에 의한 취급용이성의 정도

### 3.1.2 주관적 요인 평가

주관적 요인은 8가지 조립용이성 결정요소가 전체 조립용이성에 같은 비율로 영향을 미친다고 말할 수는 없

다. 따라서, 조립용이성 평가에 있어서 조립용이성과 조립시스템과의 관계에 의해 전체를 100으로 하였을 때 각각의 결정요소가 차지하는 비율들을 결정한다. 이러한 비율 산정시 조립시스템을 구성하고 있는 Object, M/C(Machine) 및 Operation과 8가지 조립용이성과의 관계가 있는 경우 1점, 관계가 없는 경우 0점을 부여함으로써 Fig. 8과 같이 전체에서 각각의 조립용이성 결정요소가 차지하는 비율을 산정해 낼 수가 있다. 놓임안정성이 조립시스템에서 차지하는 비율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{놓임안정성 비율} &= (\text{놓임안정성 관계점수} / \text{총관계점수}) \\ &\times 100 \\ &= (3/30) \times 100 = 10.0\% \end{aligned}$$

부품의 놓임안정성을 고려할 때는 조립되는 부품의 재질적 특성보다 부품의 형상특징인 기하학적 특성에 영향을 많이 받을 수 있고, 또 이러한 놓임 안정성을 조립에 사용되는 기계 및 공정의 주기능 수행보다 주기능이 수행되기 전인 보조기능에 더 많은 관계를 가질 것으로 주관적으로 고려될 수 있기 때문에, Fig. 8의 첫 줄과 같이 3개의 관계가 있는 표시로 나타낼 수 있다. 따라서, 부품의 놓임안정성에 대한 주관적인 관계



점수는 3점이 부여된다. 또한, 총 관계점수는 이와 같이 각각 계산된 조립용이성의 합으로 30점이 되며, 이 부품의 놓임안정성에 대한 주관적인 비율은 총 관계점수 30점에 대한 3.0의 비율, 즉 10%의 관계 비율의 부여한다.

여기서 조립 시스템의 Main Function은 실제 조립 작업을 수행하는 기능(예: Composing Bolting, Riveting, Welding 등)을 말하며, Sub Function은 직접 부품을 조립하는 일 이외의 작업을 수행하는 기능(예: Handling, Checking, Cleaning 등)을 말한다.<sup>(2)</sup>

3.1.3 볼트의 조립용이성 평가점수 산정

위의 주관적 요인 평가에서 구해진 비율들을 실제 각 조립용이성 결정요소들의 최대 평가점수로 규정하고, 그 합이 100이 되게 하여 조립용이성 요인 분석에서 획득한 각 결정요소별 평가점수를 결정요소별 실제 조립용이성 평가점수로 변환함으로써 8가지 조립용이성 결정요소들의 조립용이성 평가점수를 산출할 수가 있다.

본 논문에서 제시한 취급용이성이 전체에서 차지하는 비율이 13.3%이므로 취급용이성의 실제 조립용이성 최대평가점수를 13.3점으로 한다. 또한 조립용이성 요인 평가에 의한 취급용이성 요소의 최대 평가점수는 잡힘성 점수인 5점이다. (놓임안정성인 경우의 최대 평가점수는 안정자세와 접촉상태의 평가점수를 합한 10점이다) 따라서 조립용이성 요인 평가에 의해 산출된 취급용이성 요소에 의한 평가점수를 다음과 같은 식에 의해 13.3점 만점으로 환산함으로써 운반용이성의 실제 평가점수를 구할 수가 있다.

$$5.0:13.3 = H:H'$$

- H = 조립용이성 요인 평가에 의한 취급용이성 요소의 조립용이성 평가점수
- H' = 취급용이성의 실제 조립용이성 평가점수

이와 같은 방식으로 나머지 7가지 조립용이성 결정요소의 실제 평가점수를 산출할 수가 있으며, 전체 조립

		조립 시스템								합계 (Si)	비율 (%) (Wi)
		Object		M/C		Operation					
		가하학적 특성	재질적 특성	Main Function	Sub Function	Main Function	Sub Function				
조립용이성 결정요소	놓임안정성	○	△	△	○	△	○	3.0	10.0		
	운반용이성	○	○	△	○	△	○	4.0	13.3		
	정렬용이성	○	△	△	○	△	○	3.0	10.0		
	접사용이성	○	△	△	○	△	○	3.0	10.0		
	취급용이성	○	○	△	○	△	○	4.0	13.3		
	접근용이성	○	△	△	○	△	○	3.0	10.0		
	삽입용이성	○	△	○	△	○	△	5.0	16.7		
	체결용이성	○	△	○	△	○	△	5.0	16.7		
◻ 조립시스템과 조립용이성과의 관계 ○ ~ 1점(관계 있음) △ ~ 0점(관계 없음)									(S)	(W)	
$S = \sum_{i=1}^8 S_i, \quad W = \sum_{i=1}^8 W_i$											
$S_i = \sum_{j=1}^n \text{가중치}$ (단 여기서, n = ○의 갯수)											
Main Function: 2점 Sub Function, 가하학적, 재질적 특성: 1점											
$W_i = [(S_i \div S) \times W]$ 여기서, S = 조립용이성 총관계점수 W = 조립용이성 결정요소의 비율의 합 S <sub>i</sub> = 각 요소별 조립용이성 관계점수 W <sub>i</sub> = 각 요소별 조립용이성의 비율											

Fig. 8 주관적 요인에 의한 각 조립용이성 결정요소들의 비율 산정

용이성 평가점수는 각 결정요소별 실제평가점수들의 합으로 나타낼 수가 있다. 따라서 이를 구하는 수식은 다음과 같다.

$$TAE = \sum_{i=1}^8 [(MSE_i + AE_i) + MAE_i]$$

- TAE : 전체 조립용이성 평가점수
- MSE<sub>i</sub> : 주관적 요인 평가에 의한 결정요소별 실제 조립용이성 최대 평가점수
- AE<sub>i</sub> : 조립용이성 요인 평가에 의한 각각의 결정요소별 조립용이성 평가점수
- MAE<sub>i</sub> : 조립용이성 요인 평가에 의한 각각의 결정요소별 조립용이성 최대 평가점수

즉, 위의 식은 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$TAE = [(10.0 \times S) \div 10] + [(13.3 \times T) \div 50] + [(10.0 \times O) \div 10] + [(10.0 \times C) \div 10] + [(13.3 \times H) \div 5] + [(10.0 \times A) \div 5] + [(16.7 \times I) \div 10] + [(16.7 \times F) \div 10]$$

- S: 놓임안정성, T:운반용이성, O:정렬용이성, C:검사용이성
- H: 취급용이성, A:접근용이성, I:삽입용이성, F: 체결용이성

위에 제시한 나머지 요인들에 대한 평가 내용은 참고 문헌(12)을 근거로 한다.

### 3.1.4 최적의 대안선정

위에서 설명한 전체 조립용이성 평가식을 적용하여 기존의 볼트와 볼트설계 대안들에 대한 조립용이성 평가 점수들을 산출하고 비교, 분석함으로써 전체 조립용이성

평가점수(TAE)가 가장 높은 대안을 조립용이성이 가장 높은 최종적인 설계대안으로 선정할 수 있다. 본 연구에서 개발한 평가시스템은 여러가지 볼트 형상의 조립용이성을 평가하는 과정에서 부분적으로 상반된 관계가 발생할 수 있다. 즉 예를 들어, 볼트머리가 둥근 형상인 경우 운반용이성 측면에서는 용이하지만 놓임안정성 측면이나 취급용이성 측면에서는 좋은 결과를 보여주지 못한다. 그러나, 볼트의 머리가 육각이나 사각인 경우 놓임안정성과 취급용이성은 둥근형상에 비해 향상되지만, 운반용이성 측면에서는 오히려 좋지 않은 결과를 가져온다. 이와 같이, 볼트의 조립용이성을 평가할 때 8가지 조립용이성 결정요소 전부를 향상시킬 수는 없다. 즉, 한 결정요소의 조립용이성을 증가시킬 때 발생하는 다른 결정요소의 조립용이성 감소는 평가하고자 하는 볼트의 전체 조립용이성 평가점수가 다른 볼트의 전체 조립용이성 평가점수보다 높다면 고려할 필요가 없다. 따라서, 조립용이성 평가점수가 가장 높은 대안을 최종 대안으로 선정하고 그 결과를 막대그래프로 출력함으로써 사용자에게 분석된 결과를 보여준다.

### 3.2 사례연구

본 연구에서 개발한 볼트 형상에 대한 조립용이성 평가시스템을 이용하여 예로서 동력전달에 사용되는 플랜지형 고정 커플링의 체결에 사용되는 육각볼트를 대상으로 조립용이성을 평가하고 조립용이성이 향상된 볼트를 선정하는 사례를 제시한다.

#### i) 정보 입력

플랜지형 고정 커플링의 체결에 사용된 육각볼트에 대한 분석을 위해 조립공정, 조립기능 수행체, 조립될 부품에 대한 정보를 입력한다. Fig. 9는 입력된 정보들의 내용을 보여주고 있다.

조립될 부품	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상부 부품의 구조 형상: Clearance</li> <li>• 하부 부품의 구조 형상: Clearance</li> <li>• 상부 부품의 직경: 21</li> <li>• 하부 부품의 직경: 21</li> <li>• 상부 부품의 길이: 28</li> <li>• 하부 부품의 길이: 28</li> <li>• 부품의 사이 간격: 0</li> <li>• 삽입방향: 중립방향</li> </ul>	조립 수행체	조립 공정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동력원: Human power</li> <li>• 정렬장비: 경사슈우트</li> <li>• 체결공구: 양구스페너</li> <li>• 그리퍼의 형태:</li> <li>• 놓임상태: Horizontal</li> <li>• 운반장비의 제질: 철금속</li> <li>• 자동화: 자동조립</li> <li>• 정렬방식: 완전정렬</li> </ul>

Fig. 9 입력정보의 내용

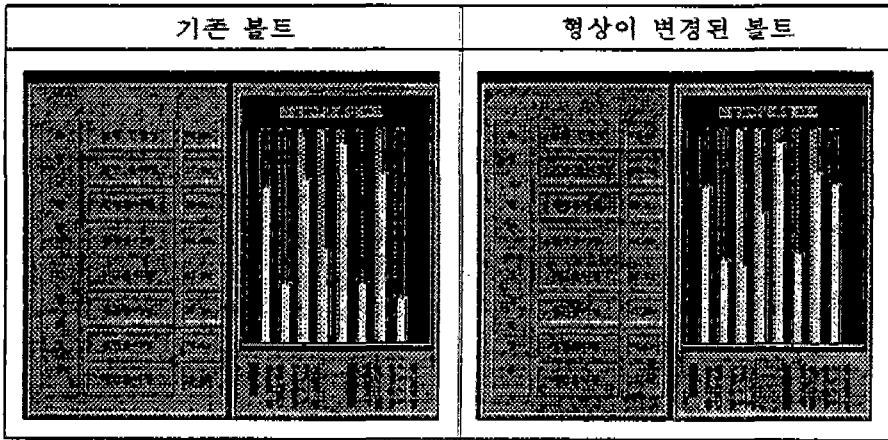


Fig. 10 기존 볼트 및 형상이 변경된 볼트의 조립용이성 평가 결과

조립용이성	개선전	개선후	비교
놓임안정성	72%	72%	변화없음
운반용이성	27%	38.3%	증가
정렬용이성	76%	36.0%	감소
검사용이성	44%	60%	증가
취급용이성	92.8%	92.8%	변화없음
접근용이성	27.5%	41.2%	증가
삽입용이성	78.6%	78.6%	변화없음
체결용이성	20.0%	73.4%	증가
합계	54.3점	63.7점	

결과 분석 : 조립용이성 향상(+9.4점)

Fig. 11 개선전과 개선후의 평가점수 결과 비교

ii) 기존 볼트 및 형상이 변경된 볼트의 조립용이성 평가

AutoCAD로부터 받은 정보를 바탕으로 플랜지형 고정 커플링에 사용된 볼트의 조립용이성을 평가한 평가점수는 54.3점이다. 그러나 이러한 볼트에 대해 와셔를 통합화시키고, 볼트끝을 뾰족하게 하며, 볼트머리 위에 +자 형상의 구동장치를 부여하고 나사산의 형상을 두줄나사로 변경시킨 후의 조립용이성 평가점수는 63.7점이다. Fig. 10은 조립용이성 평가결과를 8가지 조립용이성 결정요소가 차지하는 비율을 텍스트 형식으로 표시하고 있으며, 우측면 그래프에서는 비율을 막대 그래프 형식으로 표시하고 있다. 이에 대한 자세한 내용은 Fig. 11에 제시되어 있다. 본 사례연구에서 분석

한 개선후의 볼트는 정렬용이성 측면에서는 약간의 조립용이성 감소가 발생했고, 놓임안정성과 취급용이성, 삽입용이성 측면에서는 변화가 없었지만, 운반용이성, 검사용이성, 접근용이성 측면에서는 약간의 조립용이성 증가가 있었으며, 특히 체결용이성 측면에서는 조립용이성이 상당히 증가하였다. 또한 개선전에 비해 개선후의 조립용이성 평가점수는 전체적으로 9.4점이 증가하였다. 그러므로 비록 정렬용이성과 같은 일부 조립용이성 결정요소들의 평가점수가 감소되었다 할지라도 전체적으로는 조립용이성이 향상되었다고 할 수 있다. 따라서 개선전의 육각볼트는 와셔의 일체화, 두줄나사의 사용, 십자 모양의 구동형태 부여, 볼트끝을 뾰족하게 함으로써 조립을 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라 조립시간

을 단축시키는 결과를 가져옴으로서 조립생산성을 높일 수 있다고 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 볼트의 특성요소 및 볼트체결의 메카니즘에 대한 분석이 있었으며, 볼트의 조립용이성을 향상시키기 위해서 볼트의 4대 구성요소들에 대한 특성이 파악되었다. 또한 조립공정 수행시점을 조립공정 전과 조립공정 중으로 나누어, 조립용이성의 성질을 결정해주는 요소들 중 놓임안정성과 취급용이성에 대해 분석하였다. 이를 기초로 볼트의 특성요소와 조립용이성의 상관관계를 파악하여 볼트의 조립용이성을 평가할 수 있는 세부평가기준을 설정하고 조립용이성의 크기를 정량적으로 파악할 수 있는 기초적인 자료를 제공하는 평가분석시스템을 개발하였으며, AutoCAD 시스템과 인터페이스 시켜 볼트의 조립용이성 평가시 사용자의 편의를 도모하고자 하였다.

현실적으로 볼트의 특성상 조립공정에서는 볼트가 계속적으로 많이 사용되고 있기 때문에, 중요한 체결요소로 앞으로 계속 사용되어질 것이다. 그리고, 조립에 소요되는 시간 및 경비의 절감을 위해서는 볼트의 이송 및 정렬도 중요한 요소이지만, 실제 조립 작업장에서 부품 취급 및 조립기능 수행성도 중요하기 때문에, 볼트의 형상이 좋은 조립용이성을 갖도록 설계되어야 할 것이다. 따라서 본 시스템은 볼트의 조립용이성을 평가하여 작업현장에서 조립용이성이 높은 볼트를 선택할 수 있게 함으로써 조립 생산성을 향상시키는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 목학수, 정남수, "조립용이화를 위한 구조 설계", 대한산업공학회 90' 춘계공동 학술대회 논문집 pp.207-219, 1990.4.
2. Andreasen, M. M, Kaehler S. and Lund, T., "Design for assembly", 2nd Edition, IFS, 1988.
3. Boothroyd, G., Dewhurst, P., "Product Design for Assembly", Designers Hand-

- book, Boothroyd Dewhurst, Inc., 138 Main Street, Wakefield, RI 02879.
4. Miyakawa, B., and Ohashi, T., "The Hitachi Assemblability Evaluation Method(AEM)", Proc. Int. Conference on Product Design for Assembly, Newport, RI, April 15-17, 1986
5. Ohashi, T., Miyakawa, S., Arai, Y., Inoshita, S., Yamaha, A., "The Development of an Automatic Assembly Line for VTR Mechanism", Annals of the 15th CIRP, pp.20-22, June 1983.
6. Warnecke, H. J., Kroll, L. "Design for Assembly-Part of the Design Process", Annals of CIRP, Vol.37/1/88, p.1.
7. Yamigiwa, Y., "An Assembly Ease Evaluation Method for Product Designers: DAC", Techo Japan, Vol.21, No.12, December 1988.
8. Miyakawa, S., Ohashi, T., Iwata, M., "The Hitache New Assemblability Evaluation Method (AEM)", Trans. of the North American Manufacturing Research Institution of SME, May 23-25, 1990.
9. Angermuller, G., Moritzen, K., "A Knowledge-based System Supporting Product Design for Mechanical Assembly", 1st Conf. Artificial and Expert Systems in Manufacturing, pp.181. March 1990.
10. Eversheim, W., "Organisation in der Produktionstechnik", Band 4 Fertigung und Montage, VDI-Verlag, 1990.
11. Lotter, B., "Manufacturing Assembly Handbook", Butterworths, 1986.
12. 목학수, 김경운, 이재철, "나사작업에 있어서의 조립형상 특징을 기초로한 조립용이화 제품설계 전문가시스템 개발", 한국학술진흥재단 연구보고서, 1994
13. 横山 恭男 著, "自動組立の基礎技法 - パーツハンドリング", 工業調査會, 1985