

나사작업에 있어서의 조립형상 특징을 기초로 한 조립용이화 제품설계 전문가시스템 개발*

Expert System for Assemblability of Products
based on the Assembly Feature in Screwing

목학수**, 김경윤**, 이재철**

Hak-Soo Mok**, Gyung Yun Kim**, Jae-Cheol Lee**

Abstract

The assemblability is 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 higher assemblability in bolting process, it was analyzed the geometric and technological characteristics of bolts were analysed regarding pre- and in-assembly process. And this paper presents the knowledge-based expert system to assist for designer in the processor of designing bolt for easier assembly. The developed expert system for supporting bolt design assemblability which is named as BDFA SYSTEM consists of two system such as "BOLT DESIGN SYSTEM" which provide feasible assembly bolt design to designer and "EVALUATION SYSTEM" which provide assembly evaluation to alternative of bolt design.

1. 서론

조립될 제품은 여러 종류의 체결 요소들에 의해 결합되어 진다. 제품의 체결에 이용되

는 결합의 종류로는 크게 볼트, 리벳과 같은 체결 요소의 형태가 일정한 경우와 접착, 용접과 같은 체결 요소의 형태 변형이 있는 경우로 구별된다. 이런 여러가지 제품의 체결

* 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구 되었음

** 부산대학교 산업공학과

요소중에서 분리 가능성이 높고 체결력이 높은 볼트의 사용 빈도가 다른 체결 요소에 비해 가장 높다. 그림 1에서 알 수 있듯이 커피 포트와 같은 가전제품에서 사용된 조립방법중 볼트체결에 의한 조립이 전체 체결 공정 수의 약 46%에 이르고 있다[1].

이러한 볼트체결에 소요되는 비용, 체결 시간 등을 줄인다면 조립 생산성을 향상시킬 수 있을 것이다. 따라서 조립공정에서 소요되는 조립 시간을 줄이기 위한 대안으로써는 조립에 이용되는 볼트 체결을 대체할 수 있는 새로운 체결방법을 개발하거나, 아니면 조립용이성을 향상시킬 수 있도록 볼트의 구조를 변경할 필요가 있다.

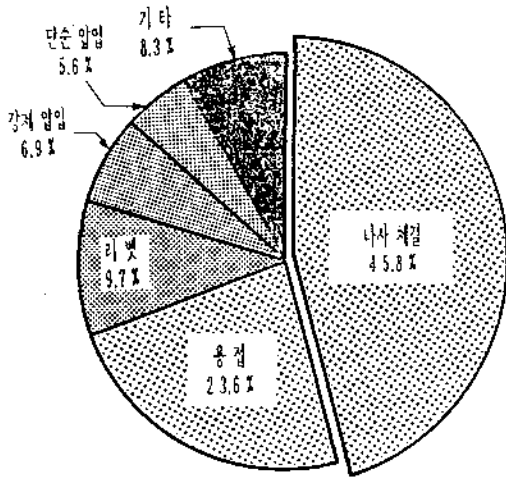


그림 1. 커피포트의 조립기능별 분포도

조립용이성을 향상시킬 수 있는 볼트설계를 위하여 그림 2에서와 같이 조립될 대상의 분석과 조립수행체, 조립공정의 요구사항들이 조립용이성이라는 측면에서 고려되어 최종적으로 볼트 설계시 영향을 주는 사항들이

도출되어질 수 있다. 조립 대상에 대한 분석으로는 부품의 형상 및 제품구조, 체결공정을 위한 작업영역, 취급될 부품의 공차범위 등이 있으며, 조립 수행체에서는 기능 수행체의 자동화 정도 및 유연성 크기 등이 고려되어야 하며, 조립공정에서는 세부 조립공정의 수, 사용되는 조립공정의 종류 및 수, 조립 작업시 수행해야 될 조립공정의 내·외적 조건이 분석되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 조립시간의 단축을 목표로 볼트의 구조가 조립용이성이 향상될 수 있도록 볼트의 특성과 조립용이성과의 관계를 규명하였으며, 이를 기초로 하여 높은 조립용이성을 갖는 볼트를 설계하는 체계적인 방법을 제시하고자 한다. 또한 본 연구의 수행을 위한 도구로써 전문가시스템을 이용하였다.

2. 볼트 체결의 특성

볼트는 일반적으로 많은 종류와 크기에 대한 것이 표준화되어 있고 결합 또는 해체가 쉽기 때문에 체결용 부품으로 널리 이용되고 있다.

2.1 볼트의 구성요소

볼트는 조립공정과 무관하게 볼트 자체의 기하학적 성질과 재질에 따라서, 그리고 조립공정이 수행될 때 미치는 힘의 구동상태와 기능에 따라 그림 3과 같이 분류될 수 있다 [2,3,4,5].

이와 같이 볼트는 제각기 다른 기능 및 용도에 사용되고 있으므로 조립용이성을 높이고자 하는 측면에서의 볼트의 구조 변경은

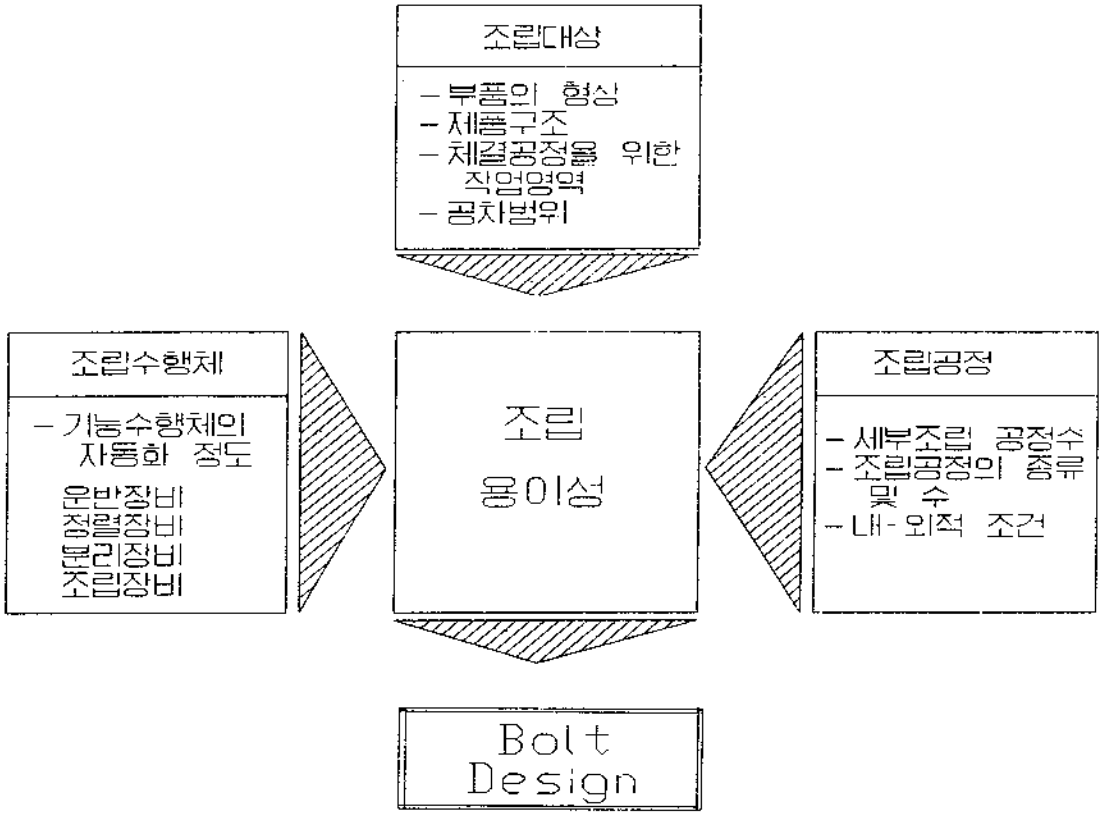


그림 2. 조립용이성을 위한 볼트설계에 영향을 주는 요소

볼트를 구성하고 있는 요소들을 세분화하여 분석함으로써 가능할 것이다. 따라서 본 연구에서는 볼트의 가하학적 형태를 기초로 하여 볼트의 형상 및 기능적인 특성을 고려하여 4대 구성요소로 나누었다. 즉, 볼트머리와 체결요소간에 체결력이 전달될 수 있도록 해주는 볼트축, 실제 체결력을 갖게 해주는 볼트산, 그리고 볼트의 삽입 및 위치 결정을 용이하게 해주는 볼트끝으로 구분하였다. 그림 4에서는 볼트의 4대 구성요소들과 각 구성요소들의 대표적인 여러 종류들을 제시하고 있

다.

여기서 볼트머리는 구동력, 잠합, 결합될 부품에 미치는 부하의 종류 등에 따라 여러가지 종류의 형상으로 나뉘어져 있다. 볼트축은 볼트머리 끝에서 나사산이 시작되기 전까지 스프링, 와셔 등과 같은 보조요소가 끼워질 영역과 제품 속에 삽입되어 지지력을 전달해 주는 부분으로 구성되어 있으며, 볼트산은 나사산으로 이루어진 부분으로 산의 종류는 미터나사, 인치나사 등으로 분류할 수가 있다. 볼트끝은 볼트의 구성요소 중 볼트

대분류	중분류	소분류	볼트의 종류(예)	
조립 공정과 무관한 분류	기하학적 형상	볼트 머리 형상	- 육각머리 볼트 - 사각머리 볼트 - 등근머리 볼트 - 플랜지 붙이 육각머리 볼트 -	
		볼트 축 형상	- 무단 볼트 - 일단 볼트 - 이단 볼트	
		볼트 산 형상	- 미터나사 볼트 - 유니파이나사 볼트 -	
		볼트 끝 형상	- 뾰족끝 볼트 - 원추형 볼트 - 거친끝 볼트	
	재질적 특성	표면 처리	- 진기아연 도금 볼트 - 카드뮴 도금 볼트 - 니켈 도금 볼트 -	
		사용 재질	- 프라스틱 볼트 - 탄소강 볼트 - 황동 볼트 -	
	조립 공정과 상관된 분류	구동 부분	외부구동력	- 육각머리 볼트 - 사각머리 볼트 -
			내부구동력	- 일자형 볼트 - 십자형 볼트 - 다중스핀들 볼트 -
기 능		이완방지	- 와셔통합형 볼트 - 와셔 날개 선조립 볼트 -	
		Burr 제거	- 칼날끝 볼트 -	
		정보전달	- 문자 각인 볼트 - 색깔 볼트	

그림 3. 조립공정에 따른 볼트 분류

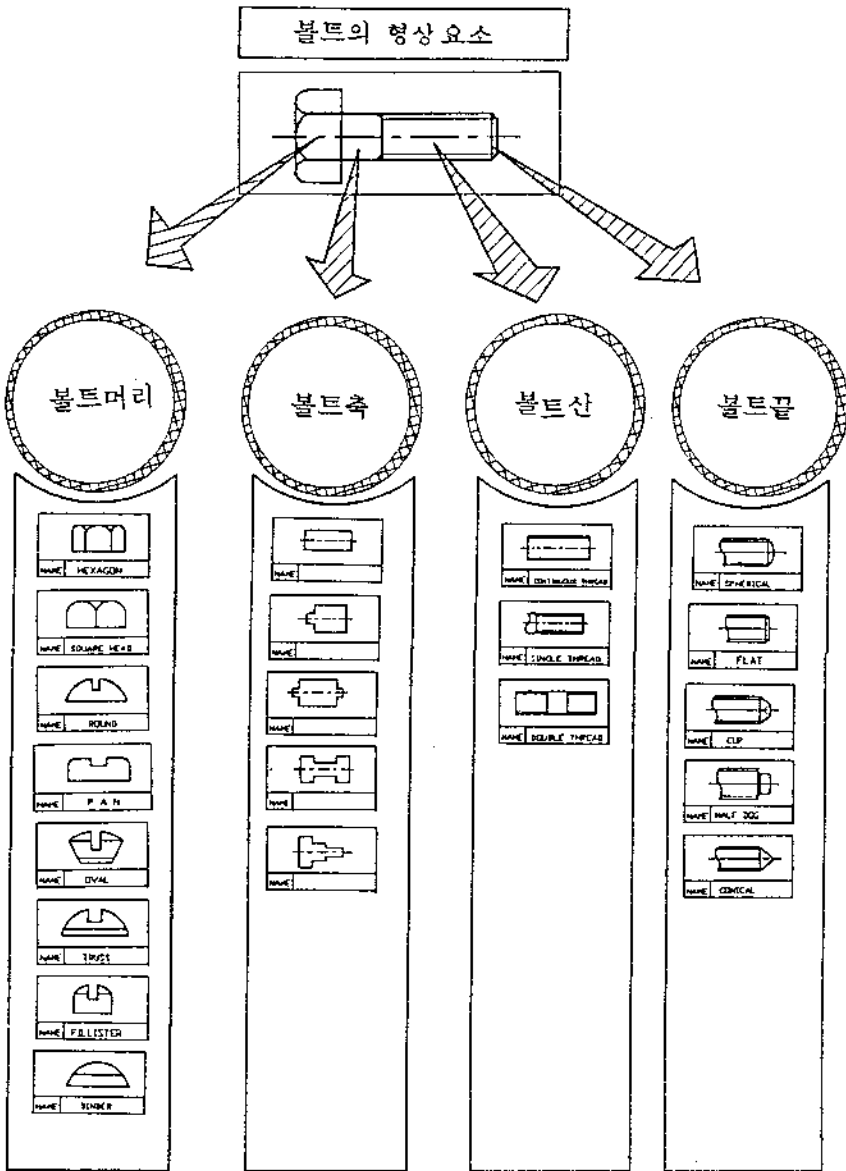
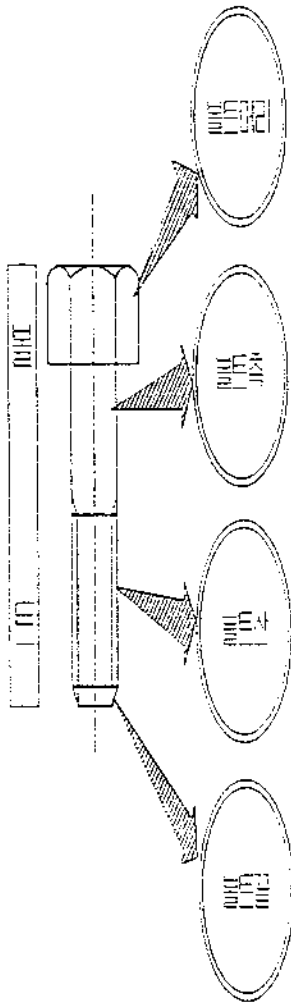


그림 4. 볼트의 4대 구성요소

머리의 반대쪽 부분으로서 삽입되어 체결될 부품과의 정확한 위치 파악을 위해 납작끝, 막대끝, 뿔족끝, 오목끝 등으로 이루어져 있다.

2.2 볼트의 특성요소

제품의 체결에 이용되는 볼트의 특성은 크게 정적성질과 동적성질로 구별될 수 있다. 볼트 자체의 고유한 성질인 정적성질은 제품 속의 다른 요소와의 조립과정중에 발생할 수



볼트 의 특 성 요 소				
정적성질 (고유)			동적성질 (상관)	
형 상	기하학적 요소	재질적 특성	정 지	운 동
<ul style="list-style-type: none"> • 형상유무 • 형상종류 • 형상요소 • 접촉형상 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 대칭성 • 면의 비 • 치수 • 접촉면적 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 무게중심 • 마찰계수 • 표면거칠기 • 색상 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 놓임상태 • 접촉면적 • 접촉상태 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 방향성 • 미끄럼성 • 글림성 • 재질 •
<ul style="list-style-type: none"> • 형상유무 • 형상종류 • 형상요소 • 접촉형상 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 대칭성 • 면의 비 • 치수 • 접촉면적 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 무게중심 • 마찰계수 • 표면거칠기 • 색상 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 놓임상태 • 접촉형상 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 미끄럼성 • 글림성 •
<ul style="list-style-type: none"> • 형상종류 • 형상요소 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 면의 비 • 치수 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 표면정도 • 	<p style="text-align: center;">-</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 체결방향 •
<ul style="list-style-type: none"> • 형상종류 • 형상요소 • 접촉형상 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 접촉면적 • 치수 • 	<p style="text-align: center;">-</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 접촉형상 • 	<p style="text-align: center;">-</p>

그림 5. 볼트 특성요소

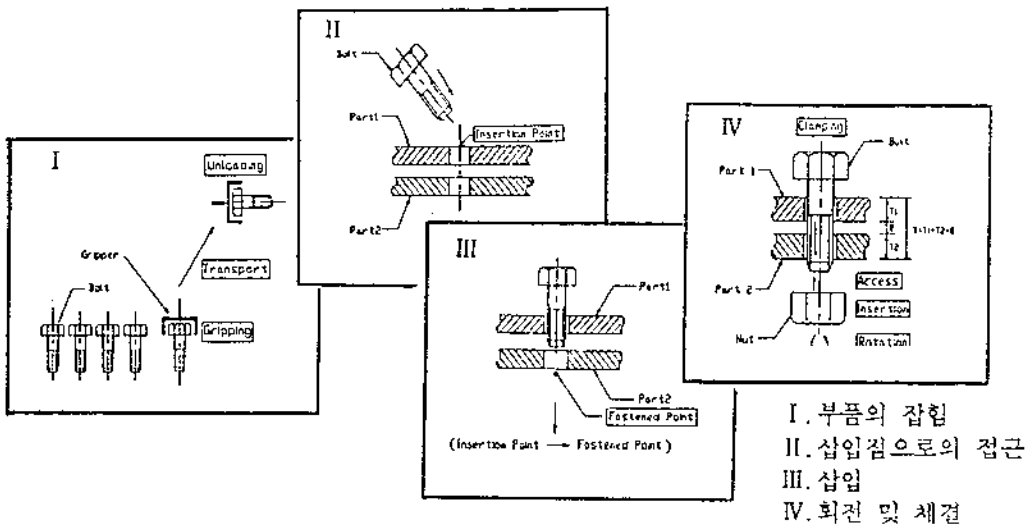


그림 6. 볼트의 체결 메카니즘

있는 상관관계가 고려됨이 없는 특성을 말하며, 이에 반해, 조립공정이 수행되는 동안에 체결될 부품과 다른 요소들과의 관계가 고려되어 동적성질이 결정되어 진다.

그림 5는 볼트의 특성을 결정짓는 정적성질과 동적성질을 보여주고 있는데, 볼트의 정적성질의 예로는 볼트 형상의 종류 및 대칭성과 접촉면과의 관계 등을 보여주는 기하학적 요소와 재질적 특성에 관한 결정요소가 이에 해당되며, 체결될 부품들과의 상관관계를 고려한 볼트성질 또는 볼트와 체결될 부품간의 상대적인 놓임상태 및 접촉상태 등이 동적성질의 예가 될 수 있다.

볼트의 체결 메카니즘은 크게 다음과 같이 네 공정, 즉 ①볼트가 조립수행체에 의해 잡혀져서, ②삽입될 곳으로 이동되어, ③체결될 요소 사이로의 삽입 공정이 일어난 후, ④너트 또는 제품 내의 암나사와의 회전으로 체결된다(그림 6). 즉, 볼트 체결은 볼트의 직선 및 곡선운동으로 체결될 부품에 접근 및

삽입되어, 너트 혹은 부품의 내부에 있는 암나사와의 회전운동으로 체결력이 전달되어 부품들을 결합하는 방법이다[6,7].

이러한 볼트 체결이 이루어지기 위한 선행 단계로서는 체결될 각 부품들간의 위치 정렬이 되어져 있어야 한다. 이를테면, 드릴작업으로 관통되어 있거나 태핑작업으로 태핑되어 있는 부품의 구멍을 체결하기 위한 부품들간의 정확한 위치 정렬이 요구된다. 체결될 부품간의 위치가 정렬되어지면 상하 체결 부품에 삽입된다. 삽입된 볼트가 체결 위치에 이르게 되면 볼트머리 부분이나 너트에 회전력이 전달되어져 체결이 이루어진다.

볼트 체결은 잠혀지는 볼트머리 부분과 부품 속에 삽입되는 볼트축과 볼트산 그리고 볼트끝의 특성요소들에 의해 영향을 받게 된다. 따라서, 볼트의 조립용이성을 향상시키기 위해서는 볼트 체결 메카니즘의 기본 기능들과 볼트의 4대 구성요소들과의 관계들에 대한 분석이 필요하게 된다.

2.4 볼트를 이용한 조립공정

볼트를 이용한 조립공정에서는 조립공정의 수행시점에 따라 조립공정 전과 조립공정 중으로 나누어 볼트의 특성을 살펴볼 수가 있다. 조립공정 전에서는 조립의 부기능인 볼트의 운반, 저장, 검사, 취급 공정을 수행하는 과정으로서 이러한 공정에서 볼트가 어떠한 구조가 되어야 하는 지가 고려되어야 하고, 조립공정 중에는 실제 조립작업이 수행되는 동안에 볼트가 작업장에 투입되어 조립 수행체에 의해서 조립 주기능이 수행되는 관점에서 볼트에 미치는 여러가지 특징들이 파악되어야 한다(그림 7).

이에 조립생산성 향상을 위해 조립시간의 단축이라는 목표를 달성하기 위해서는 각 조립공정에서 요구되는 사항을 조립용이성이라는 관점에서 볼트가 설계 될 필요가 있다. 조립용이성이라 함은 조립수행체 -조립작업자, 기계- 가 부품의 조립기능을 수행할 때 조립하기 쉬운 정도를 말한다. 따라서 조립공정의 수행시점에 따라 이러한 조립용이성도 조립공정 전과 조립공정 중으로 나누어 고려되어야 한다. 이러한 조립용이성은 구체적으로 각 조립공정에서의 조립기능 수행을 결정해주는 요소(볼트)들의 놓임안정성, 운반용이성, 정렬용이성, 검사용이성과 볼트의 취급을 쉽게 하는 성질, 체결될 요소들로의 접근용이성, 삽입용이성 그리고 체결이 수행되는 체결용이성 등으로 결정되어진다[8]. 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 결정한다.

따라서 본 논문에서는 조립용이성의 결정요소들을 조립공정 전과 조립공정 중으로 나누었으며, 조립공정 전에서는 볼트의 놓임안정성, 운반용이성, 정렬 및 검사용이성의 특성이 파악되어졌으며, 취급용이성, 접근용이성, 삽입용이성 그리고, 체결용이성은 조립공정 중에서의 조립용이성을 결정해주는 요소들이다.

3. 볼트의 특성요소와 조립용이성과의 상관관계

볼트의 세분화된 8가지 조립용이성 결정요소들은 볼트의 특성요소 및 볼트 체결 측면에서 그림 8과 같이 정의될 수 있다. 볼트가 조립시스템에서 외부의 충격에 대하여 원래의 정지상태로 복원하기 위한 능력의 정도를 볼트의 놓임안정성으로, 한 점에서 다른 위치로 용이하게 미끄러지거나 굴러 갈 수 있는 정도를 볼트의 운반용이성으로, 볼트들간의 엉킴성과 접침성 등에 의해서 정렬용이성이 좌우될 것이며, 검사용이성은 볼트에 각인된 형상요소 등에 의해 결정되어진다. 그리고 볼트의 잡힐 수 있는 성질 및 운반될 수 있는 특성에 의해 볼트의 취급용이성이 좌우되며, 볼트의 길이나 체결될 제품의 구조특성에 의해 볼트가 제품에 접근할 수 있는 능력인 접근 용이성이 결정되어진다.

그림 9에서는 위에서 제시한 조립용이성과 볼트의 특성요소들과의 관계를 보여주고 있다. 여기서, 볼트의 놓임안정성은 볼트머리의 형상, 바닥면과의 접촉형상(점접촉, 면접촉 등), 접촉 면적의 크기에 의하여, 볼트축에서는 축의 형상, 접촉 상태 그리고 볼트끝에서

조립공정 수행 시점

조립공정전

조립공정중

체결 요소가 삽입 및 체결되기 이전에 체결 요소의 본래 성질과 조립시스템 상태에서의 특성

정의

체결 요소가 조립공정이 수행되는 단계에 있어서 체결 요소와 부품과의 관계를 고려한 체결 요소의 특성

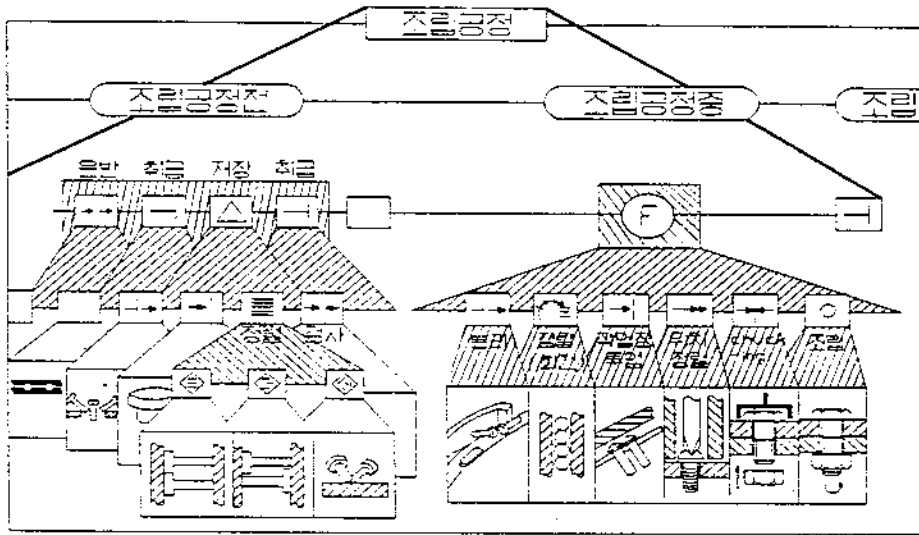


그림 7. 조립용이성의 조립공정 수행시점

는 볼트끝의 형상 및 접촉형상 요소들에 의해 크게 영향을 받고 있으나, 볼트산은 영향을 주지 못한다.

또, 볼트의 운반용이성은 볼트머리의 형상, 볼트축의 단면의 종류 등이 특히 고려되어야 한다. 한편 조립공정 중에서의 조립용이성 결정요소인 취급용이성은 볼트머리에서는 볼트머리의 형상, 접촉형상, 접촉면적, 그리고 볼트축에서는 단면의 종류, 접촉유무, 그리고 볼트산에서는 치수 등에 의해 매우 중요한 영향을 받을 수가 있으며, 체결용이성은 회전동력이 전달되는 볼트머리의 형상과,

볼트축의 형상 및 접촉형상, 볼트산의 길이 및 볼트끝의 형상종류 등에 의해 결정되어진다.

4. 조립용이성을 위한 볼트 설계 영향 요소

앞에서 제시된 볼트의 조립용이성의 결정요소 즉, 조립공정 전에서의 놓임안정성, 운반, 정렬, 검사용이성, 조립공정 중에서의 취급, 접근, 삽입, 체결용이성과 연계시켜 그림 10에서는 조립용이성을 위한 볼트 설계에 영

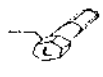
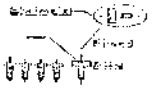
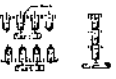
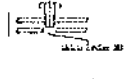

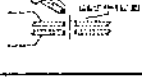
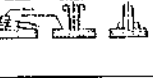
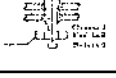
조립 공정 전			조립 공정 중		
볼트의 조립 용이성	정의	그림	볼트의 조립 용이성	정의	그림
검사 용이성	볼트의 형상에 대한 정보인식 정도		취급 용이성	원 부품 집어치기 새콤으로의 접근이 시작되는 곳까지의 이동 쉬운 정도	
정밀 용이성	볼트가 이면 상 규격과 일치 하 또는 좌우로 정렬되는 정도		삽입 용이성	삽입 시작점에 서 체결이 시작되는 곳으로의 삽입 쉬운 정도	
운반 용이성	PI에서 PZ로 미끄러지거나 굴러갈 수 있는 정도		검근 용이성	운반되어 온 구 삽입이 시작되는 정까지의 접근 쉬운 정도	
놓임 안정성	외부의 충격에 대하여 원래의 위치 상태로 바뀔 수 있는 정도		재건 용이성	삽입된 볼트가 나브 또는 체결체의 입니사위의 재건 쉬운 정도	

그림 8. 볼트체결에서의 조립용이성의 정의

향을 주는 요소들이 파악되어져 있다. 예를 들어, 놓임안정성은 조립공정 전에 고려될 조립용이성 결정요소이기 때문에 조립에 필요한 제품 특성과는 무관하나, 조립의 보조기능 및 실행장비의 사용조건 등은 고려되어져야 한다. 이같은 특성을 바탕으로 볼트 설계는 볼트의 작업장에서의 놓임상태, 무게중심 및 놓여져있는 요소들과의 접촉상태에 따라 결정되어진다. 그리고, 조립공정 중에서의 조립용이성 결정요소인 취급용이성에서는 볼트 설계시 조립 실행장비의 운반거리 및 볼트의 취급시 사용되는 Gripper의 형상 등이 고려되어져야할 뿐 아니라, 조립공정 중에 취급되는 공구 및 결합되는 부품의 형상 및 재질 등이 함께 고려될 요소이다. 따라서, 볼트를 설계할 때에는 볼트와 기능 수행체간의 접촉

되는 형태와 표면거칠기의 정도, 그리고 조립될 대상의 형상, 무게 등이 함께 고려되어져야 한다.

5. 조립용이성을 고려한 볼트설계 전문가시스템의 구축

5.1 볼트설계에 관한 전문가시스템의 구축 방향

조립용이성을 고려한 볼트설계를 위해서는 볼트체결 공정을 수행시 조립수행체, 즉 전문가의 경험이 중요시됨으로 볼트설계와 조립용이성의 관계를 전문가시스템 셀의 일종인 EXSYS PRO (GUI VERSION)를 이용하여, 볼트설계에 영향을 주는 요소와 조립용이성 결정요소 및 조립정보로부터 볼트설계

조립용이성 건진요소	부트 들 성 요소												
	부트 들 성 요소				부트 들 성 요소				부트 들 성 요소				
부위 안정성	높임상태	전축상대	무개중심	형상유무	형상종류	형상민적	치수	형상색상	형상유무	형상종류	형상민적	치수	형상요소
조립용이성	미끄러짐	클립기능성	윤민장치	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
조립공정	성립성	결집성	적제성	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
조립공정	검사용이성	판별용이성	분리용이성	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
조립공정	취립용이성	침합성	윤민성	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
조립공정	립근용이성	접근성	반경도	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
조립공정	삼입용이성	끼워맞춤성	삽입상태	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
조립공정	채기용이성	체결상태	체결장치	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

●미치는 영향: 많음 ○미치는 영향: 보통 ○미치는 영향: 적음

그림 9. 볼트 특성요소와 조립용이성 결정요소와의 관계

	조립실행장비	조립기능공구	제품특성	볼트설계
조립 용이성				
숙임 안정성	- 부품의 상대적인 숙임상태 작업장 조건	-	-	→ - 부품의 상대적인 숙임상태 - 무게중심 - 접촉상태
은반 용이성	- 이송장비 종류 - 이송거리 - 이송속도	-	-	→ - 접촉상태 - 마찰계수 - 재질
정렬 용이성	- 저장상태 - 이송장비 - 정렬장비 - 정렬기구	-	-	→ - 부품의 방향성 - 머리모양 - contact type - 저장성
검사 용이성	- 측정장비(Sensor) - 분리장비 - 검사 points	-	-	→ - 색상 - Symbol - 표준부품의 사용
취급 용이성	- Gripper Type - 은반거리 - 속도 - 방향, 방향의 수	- Gripper 형상 - 회전동력 - Gripper 치수	- 부품의 방향성 - 무게 - 재질	→ - contact type - 표면거칠기 - 단순형상 - 무게
접근 용이성	- Gripper Type - 접근거리 - 속도, 방향, - 방향의 수	- 접근길이 - 접근방향 - 접근속도	- 제품의 형상요소	→ - 볼트머리 형상 - 축의 길이
삽입 용이성	- 자유도 - 삽입 유연성	- 삽입길이	- 제품의 형상구조 - 위치결정 허용도 - 끼워맞춤 공차	→ - 볼트끝 형상 - 공차범위 - 축의 길이
체결 용이성	- 체결장비 - 체결력 (air식, 유압식등)	- 체결공구 - 동력전달 - 작업공간	- 작업영역 고려 - 제품의 형상구조 (countersink, counterbore등)	→ - 볼트머리 형상 - 동력전달 범위

그림 10. 조립용이성을 위한 볼트 설계 영향요소

를 위한 전문가시스템을 구축하고, 이와 아울러 설계된 대안들에 대한 조립용이성 평가 시스템을 구축하였다. 또한 개선된 볼트의 형상을 사용자가 참조할 수 있도록 하기 위해서는 CAD 시스템과의 연결이 필요하므로, 본 논문에서는 AutoCAD 시스템과의 인터페이스를 통해 볼트를 설계하고자 하였다. 따라서 본 연구과제의 수행을 위하여 조립용이성을 고려한 볼트설계 전문가시스템을 개발하였으며, 이 시스템명을 BDFA (BOLT DESIGN FOR ASSEMBLY) 시스템이라 한다. 본 BDFA 시스템의 구성은 그림 11과 같다. 이 시스템은 전문가시스템, CAD 시스템,

문가시스템은 조립용이성을 고려한 볼트설계 지식베이스와 볼트설계 Guideline 지식베이스를 구축하고 볼트설계코드를 발생시키며, CAD 시스템은 사용자메뉴 및 전반적인 시스템 관리와 실행결과 화면을 제시한다. 그리고 조립용이성 평가시 전문가시스템은 평가 지식베이스를 구축하고 평가치를 산출하며, 프레임 구조로의 변환, 평가결과 Graphic display, 볼트설계를 위한 대안 선택 및 전문가시스템인 EXSYS와 AutoCAD와의 인터페이스를 위해 C언어가 사용되어진다.

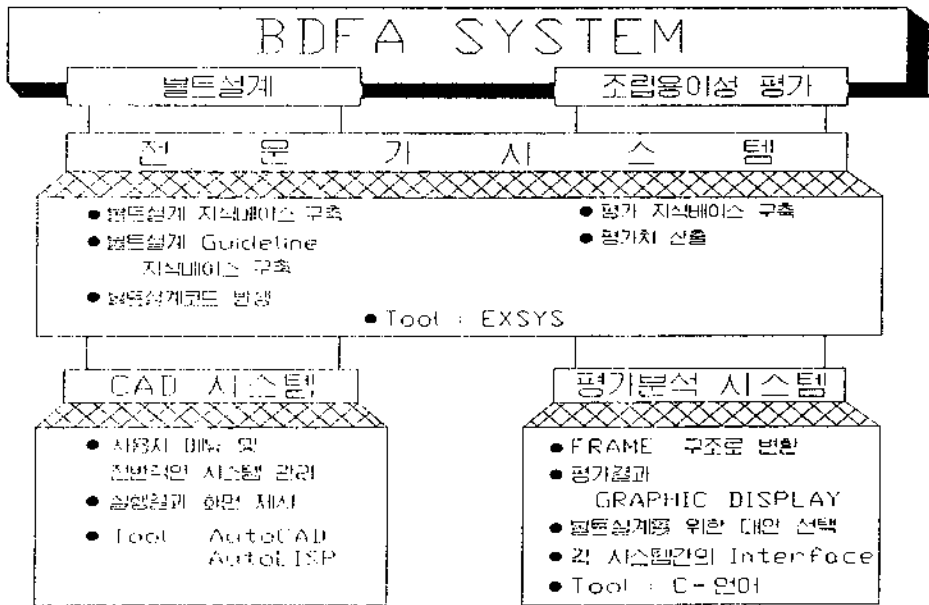


그림 11. BDFA 시스템의 구조

C-언어로 짜여진 평가 분석시스템으로 구성되어, 설계를 위해서는 전문가시스템과 CAD 시스템이, 평가를 위해서는 전문가시스템과 평가 분석시스템이 이용된다. 볼트설계시 전

5.2 볼트설계 전문가 시스템 개발

(1) 개념설계 설정 단계

그림 12에서는 앞에서 고찰한 조립용이성에 영향을 주는 볼트의 세부 요소에 의한 불

트의 개념설계를 보여주고 있다. 예를 들어 체결용이성 측면에서는 볼트산의 형상을 한 줄나사에서 두줄나사로 변경함으로써 체결시간을 줄일 수가 있고, 검사용이성 측면에서는 조립작업장에서의 정확한 요구에 맞는 볼트의 공급을 위한 검사시간을 줄이기 위하여 볼트머리에 표시된 바코드(Barcode) 체제를 적용할 수도 있다. 또, 삽입용이성 측면에서는 조립될 대상으로의 삽입이 어려운 경우 볼트의 끝부분을 뾰족하게 함으로서 쉽게 삽입하도록 할 수가 있다.

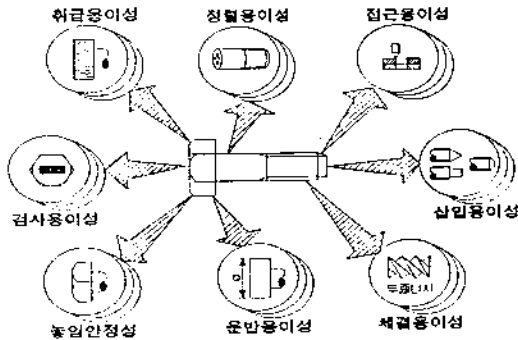


그림 12. 볼트의 개념설계

(2) 볼트의 조립용이성을 위한 지식의 획득

그림 12의 개념설계를 적용하는 절차로서 조립용이성을 고려한 볼트설계 지식베이스를 구축하였으며, IF~ THEN 형식의 PRODUCTION RULE 방식[9,10]으로 표현하였다. 그림 13은 볼트설계 지식베이스 구축을 위한 지식획득의 절차를 보여주고 있다.

지식획득의 첫번째 단계로서는 볼트의 용도와 기능분석이 먼저 수행되어야 한다. 본 연구에서는 볼트의 용도 및 기능을 체결유형,

체결기능, 너트의 사용 유무에 따라 분류하였다. 예를 들어, 분리가 가능하고 체결 주기능을 수행하며 너트를 사용하는 볼트는 관통볼트, 스테드 볼트, 충격 볼트, 리이머 볼트 등으로 나눌 수가 있으며, 분리가 가능하고 체결 주기능을 수행하고, 너트를 사용하지 않는 볼트는 탭 볼트와 테이퍼 볼트 등으로 구분할 수 있다. 따라서 지식의 추론시간을 줄이고 Rule의 효율적인 사용을 위하여 볼트의 용도 및 기능에 따라 Rule 들을 구별하여 해당 Rule 들만 작동하게 하였다. 그 다음 단계로 조립시스템을 구성하는 조립공정, 조립수행체, 조립될 부품에 대한 정보를 바탕으로 볼트사용시의 기술적 영역을 파악하고 조립시의 취약점을 분석하여 조립용이성을 향상시키는 기본적인 설계원칙들을 설정한다.

① 기술적 영역

기존 볼트의 조립용이성을 평가하고 재설계하기 위해서는 기술적 영역의 정보들이 필요하며, 이러한 정보들은 설계 및 평가를 위한 전문가시스템에 이용된다. 기술적 영역의 정보들은 그림 14와 같다. 예를 들어, 조립공정에 대한 입력정보로는 조립시스템의 형태, 볼트의 저장상태, 볼트의 정렬방법 등이 있으며, 조립수행체에 대한 정보로는 동력원, 조립장비들의 형태, Gripper의 형태 등이 있다. 제품구조에 대한 정보로는 삽입방향, 제품구멍의 형상, 치수 등이 있으며, 볼트에 대한 정보로는 볼트의 4대 구성요소들의 형상과 치수, 볼트의 재질 등이 있다.

② 취약점 분석 및 조립용이성 영역

그림 15는 취약점을 분석하는 절차를 보여

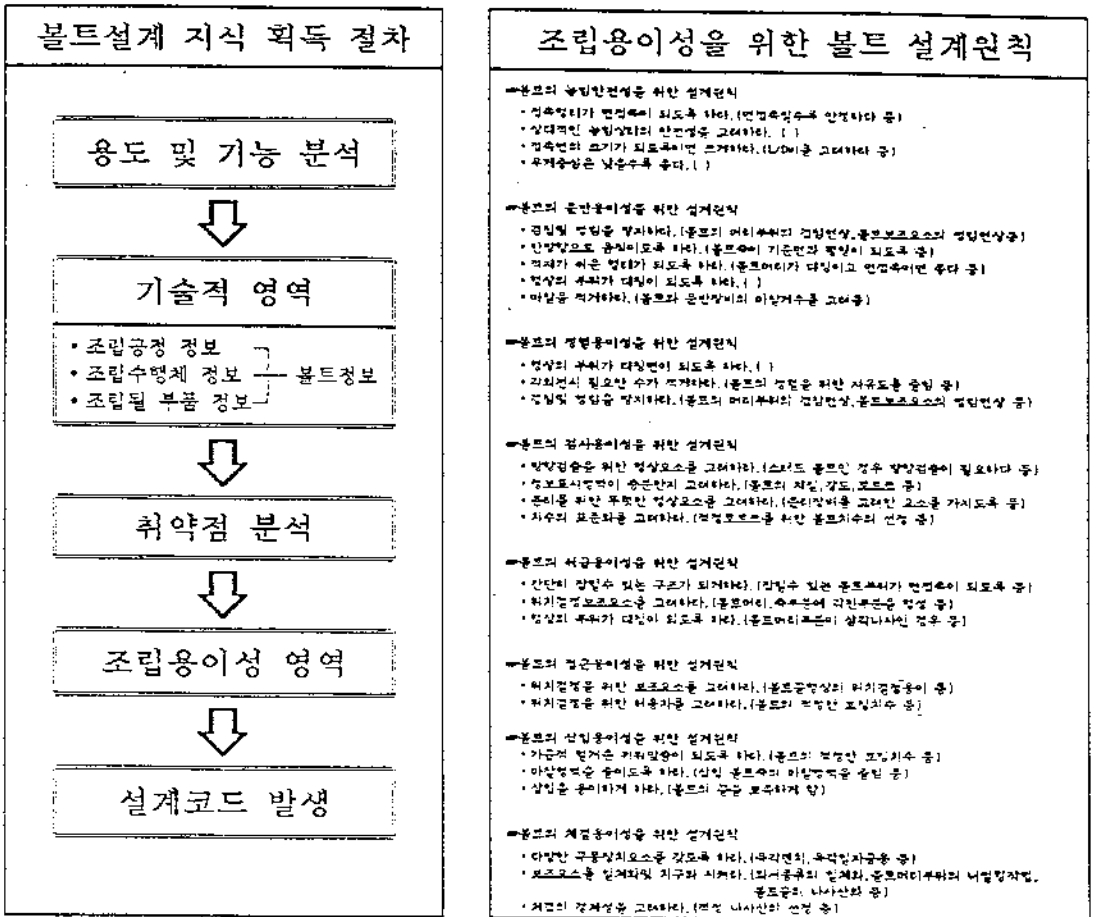


그림 13. 볼트 설계 지식 획득의 절차 및 설계 원칙

주고 있다. 조립될 대상의 성질을 분석한 후 볼트체결의 주기능과 부기능, 조립시간, 기능수행체에 대한 정보를 바탕으로 볼트를 이용한 체결시 발생하는 취약점을 파악한 후 조립용이성을 향상시키는 기본적인 설계원칙들을 설정한다.

예를 들면, 볼트의 체결용이성을 위한 설계원칙으로는 여러가지 체결공구를 사용하기 위해 다양한 구동장치 요소를 갖도록 설계하거나, 체결시간을 줄이기 위하여 와셔를 일체화시키거나 또는 적정 길이의 볼트산을 가

지도록 설계 할 수 있다. 이러한 설계원칙들이 정해지면 이에 대한 설계코드를 발생시킨다.

(3) 볼트의 조립용이성을 위한 설계코드 발생

본 연구과제의 수행을 위해 사용된 전문가 시스템 셸인 EXSYS PRO 에서의 가능도 산정방법은 0~1 시스템 혹은 0~10 시스템 등 여러 가지가 있으나, 사실상 얻어진 지식베이스에 대한 명확한 판단으로서는 미진한 부분이 있고 좀 더 복잡한 문제를 해결하기에

입력정보	세부입력정보	입력정보	세부입력정보
<p>조립공정에 대한 정보</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 조립시점의 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 수조립, 반자동조립, 자동조립 • 조립라인의 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 고정형, 이동형, 흐름형 조립라인 • 볼트의 저장 상태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ Bunkering, Magazing • 운반 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ Merge, Separating, Moving 혼합 • 볼트의 정렬방법 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 완전정렬, 부분정렬, 비정렬 • 조립라인의 검사공정 <ul style="list-style-type: none"> ▷ Presence, Position, Quality 	<p>제품구조에 대한 정보</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 삽입방향 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 수방향, 수평방향, 노방향 • 제품구조 <ul style="list-style-type: none"> ▷ Countersink, Countersore, Spotface, Clearance • 제품치수
<p>조립수행체에 대한 정보</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 조립수행체의 종류 <ul style="list-style-type: none"> ▷ Mechanic, gravity, electronic, friction, Man power • 검사기능을 수행하는 조립수행체의 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 사람, WC, 사람, WC • 분리장비의 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 직선운동, 회전운동, 왕선운동 • 운반장비의 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 컨베이어, 경사 슈우프, 진동 롤 지더 • 운반장비의 지질 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 강철, 스테인레스 알루미늄, 세라믹 • 운반장비의 경사각 <ul style="list-style-type: none"> ▷ $0^\circ \leq \alpha < 20^\circ$, $20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$, $40^\circ < \alpha \leq 50^\circ$, $50^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ • 정렬 여카나름 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 자유운동에 의한 정렬 ▷ 강제적인 힘에 의한 정렬 • 볼트체결에 사용하는 수장비의 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 삽지드라이버, 인자드라이버, 열 전치, 익스체너, 앙구스페너, 공기전치 • Gripper의 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 접촉형태와 접촉수에 따라 분류 • 볼트의 놓임상태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ Vertical, Horizontal 	<p>볼트에 대한 정보</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 볼트머리 형상과 직경 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 육각, 사각, 둥근, 날리, 캡시, 둥근캡시, 평, 둥근볼머리, 볼트머리가 없는 경우 • 볼트의 구동부분 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 인자축, 삽자축, Plus-minus, 오각, 육각구멍, 사각, 사각구멍, 프러드라이버 • 와셔 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 외식일체, 외식분리, 외식불 • mark의 상태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ no mark, simple, complicated • 글자색과 비경색 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 글자색과 비경색이 다른 ▷ 글자색과 비경색이 같은 • 볼트축의 형태와 길이 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 푸단, 일단, 이단, 볼트축 불 • 볼트산의 형태와 길이 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 한줄나사, 드물나사 • 볼트끝의 형태와 길이 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 날끝, 반날끝, 만날, 보우끝, 온보우끝, 둥근끝, 거친끝, 모뎀기끝, 오목끝, 날끝 • 너트의 형태 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 육각너트, 외식볼이너트, 플랜지너트 • 볼트의 체결 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 강철, 스테인레스 비철금속

그림 14. 기술적 영역에서의 입력정보의 내용

는 한계가 있다[11]. 따라서 본 BDFA 시스템은 EXSYS 전문가 시스템의 구성요소인 가 능도 산정부분의 접근방법중 CUSTOM FORMULAS 시스템이라는 사용자 정의 방식에 유리한 CONFIDENCE MODE를 이용하여

설계코드를 산출하게 하였다. 여기서 사용자 정의방식이란 개발하고자 하는 전문가시스템 의 주제를 기초로 하여 지식베이스 개발자가 임의로 정한 Formulas를 이용하여 가능도를 산정할 수 있는 것을 말한다[11].

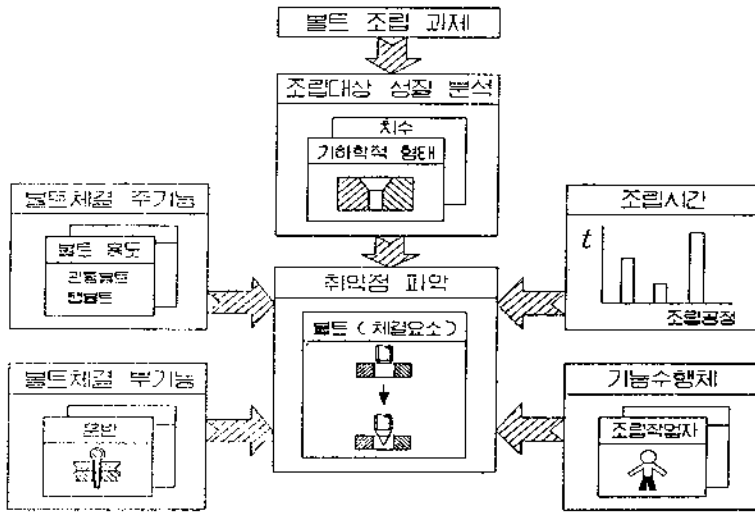


그림 15. 취약점 분석 절차

그림 16은 조립용이성을 고려한 설계대안의 코드 발생을 보여주고 있다. 설계코드의 구조를 살펴보면 앞자리를 구성하는 코드는 기술적 영역에 의하여 결정된 볼트의 기본형상 코드를 나타내며, 다음 자리는 조립시 발생하는 취약점을 개선하기 위한 코드를 나타내고 있다. 이와같이 정해진 코드가 기술적 영역 및 조립용이성 영역에 의하여 발생됨으로서 설계 대안을 작성 할 수가 있다.

5.3 볼트의 조립용이성 평가 전문가시스템 개발

조립용이성의 정도는 수조립, 반자동조립, 자동조립에 따라 그 수행정도는 달라질 수가 있으므로, 본 전문가시스템인 BDFA 시스템은 수조립에 용이한 정도를 기준으로 각 기준들의 평가에 중점을 두고 있다. 기존의 볼트 및 볼트의 설계대안에 대한 조립용이성 평가를 위해서는 프레임형 데이터로 변환된 조립공정, 조립수행체, 조립될 부품에 대한 정

보를 필요로 하며, 이러한 정보들을 바탕으로 설계 전문가시스템에서 얻어진 설계대안들을 평가한다. 평가단계를 살펴보면 앞에서 고찰한 조립용이성 8가지 결정요소의 평가기준에 의하여 각 설계대안에 대한 평가가 이루어지게 된다.

(1) 볼트의 조립용이성 평가 단계

BDFA 시스템에서의 조립용이성은 볼트의 기하학적 형상이나 기능, 치수 등에 따라 평가되는데, 평가점수 산정방법은 먼저 조립용이성을 위한 볼트설계에 영향을 주는 요인들을 평가하기 위해 조립용이성 요인과 주관적 요인으로 나눈다. 조립용이성 요인은 앞에서 고찰 했듯이 조립공정 전의 조립용이성 결정요소인 놓임안정성(L), 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 어려우

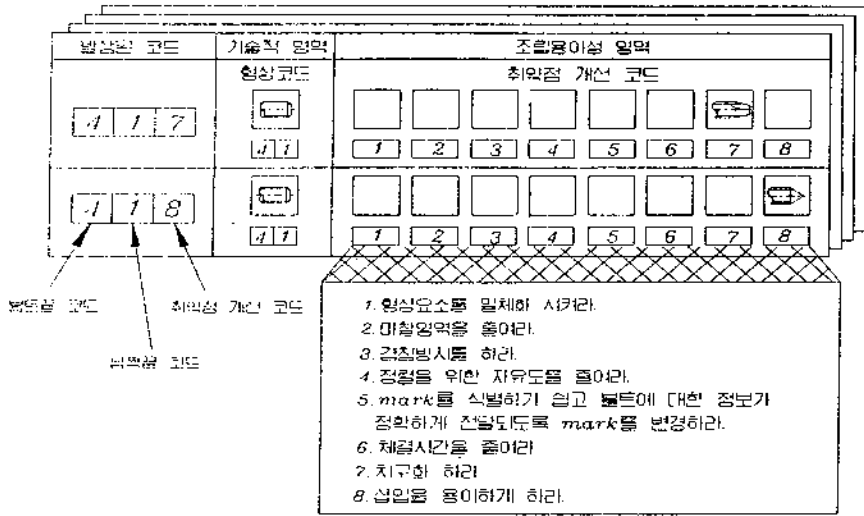


그림 16. 조립용이성을 고려한 볼트설계코드의 발생

므로, 정성적인 형태로 분석자의 주관에 의해 조립시스템을 구성하고 있는 조립대상, 조립수행체, 조립공정 등과 관련하여 가중치를 부여한다.

① 단계1~조립용이성 요인 평가

조립용이성을 고려한 볼트설계 전문가시스템을 통해 발생된 각 대안들에 대하여 8가지 조립용이성의 평가점수를 산정한다. 여기에는 각 요인에서 정한 세부평가기준에 의해서 산출식을 결정할 수가 있다. 그림 17은 조립 공정 전에서의 조립용이성을 평가하는 예를 보여주고 있다.

예를 들어, 조립공정 전에서의 놓임안정성을 평가하는 방법은 다음과 같다. 즉, 무계중심은 L/D 비에 의해, 접촉상태는 볼트머리 형태, 볼트끝 형태에 의해, 안정자세는 볼트머리, 볼트끝, L/D 비에 의해 영향을 받는다. 따라서, 평가식은 다음과 같다.

$$L = L1(X2) + L2(X1,X3) + L3 (X1,$$

X2,X3)

(L1 : 무계중심, L2 : 접촉상태, L3 : 안정자세, X1 : 볼트머리 형태, X2 : L/D 비, X3 : 볼트끝 형태)

또한 그림 18은 조립공정 중에서의 조립용이성을 평가하는 예를 보여주고 있다.

취급용이성은 Gripper와의 접촉형태 및 접촉 수, 볼트의 재질 등에 의해 영향을 받으므로, 평가요인별로 필요한 등급의 갯수를 정하고 각 등급의 평가기준에 의해 점수를 부과한다. 그러므로 평가식은 다음과 같다.

$$H = H1(X1,X2,X3,X4)$$

(H1 : 잡힘성, X1 : 볼트머리 형상, X2 : 볼트축의 형상, X3 : 볼트의 재질, X4 : 표면경도)

② 단계2~주관적 요인 평가

주관적 요인은 조립용이성 평가에 있어서

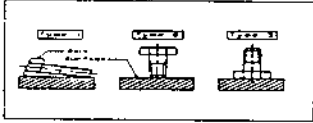
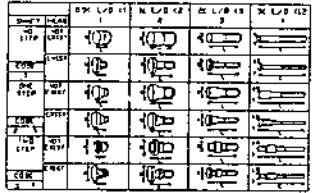
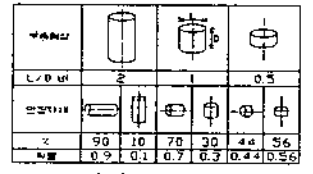
평가 기준	세부요인	평가점수 산정방법	계산식	평가자료
농 임 안 정 성	무게중심 (L1)	<ul style="list-style-type: none"> 무게중심이 낮을수록 안전 (볼트의 농임상태와 L/D비에 의해 영향을 받음) 	<ul style="list-style-type: none"> 무게중심의 크기 = 무게중심 가중치 × D/L 	
	접촉상태 (L2)	<ul style="list-style-type: none"> 볼트의 접촉형태 및 접촉수치의 합으로 평가 점수를 산출 <p> 면접촉은 7점 선접촉은 4점 점접촉은 1점 </p> <p>접촉수는 그 수에 비례</p>	<ul style="list-style-type: none"> 접촉상태의 크기 = 접촉형태 × 접촉수 	
	안정자세 (L3)	<ul style="list-style-type: none"> 안정자세 확률 적용 (볼트의 농임상태 및 L/D비에 의해) 확률이 높을수록 그 자세를 유지하려는 성질이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 안정자세 확률 L/D비에 의해 정해짐 	 <p>[출처: IPA Stuttgart]</p>
농임안정성 평가식	$L = L_1(X_2) + L_2(X_1, X_3) + L_3(X_1, X_2, X_3)$ <p>(X1 : 볼트머리 형태, X2 : L/D 비, X3 : 볼트끝 형태)</p>			

그림 17. 조립공정 전의 조립용이성 평가의 예

조립용이성과 조립시스템과의 중요도에 의해 가중치를 결정한다. 각 경우에 대하여 덜 중요한 경우 1점, 보통인 경우 2점, 중요한 경우는 3점을 부여함으로써 그림 19와 같이 가중치를 산정해 낼 수가 있다. 예를 들면, 농임안정성이 조립시스템하에서 가지는 가중치는 다음과 같이 구할 수가 있다.

$$\begin{aligned} \text{농임안정성 가중치} &= (\text{농임안정성 관계점수} / \text{총 관계점수}) \times 10 \\ &= (6/73) \times 10 = 0.8 \end{aligned}$$

여기서, 농임안정성 관계점수는 ●(3점), ○(2점), ○(1점)이 각 1개씩 있으므로 6점이 부여된다. 또한 총 관계점수는 이와같이

각각 계산된 조립용이성의 합으로 73점이 되고 가중치의 합이 10이 되도록 하였다.

③ 단계3~대안 선정

주관적 요인에 의한 가중치는 조립시스템의 자동화 정도 및 유연성 정도에 따라 달라질 수가 있으므로 정확한 반영이 어렵다. 그러나 8가지 조립용이성 결정요소에 대한 중요도를 반영하기 위해 가중치를 각 조립용이성에 해당하는 점수치에 곱하여 총합을 구한다. 이렇게 하여 구해진 점수들을 비교하여 가장 큰 값을 갖는 대안을 선정한다. 이와같은 평가시스템에 의하여 각 설계대안에 대한 평가치를 산출하게 되고, 각 설계대안에 대하여 비교 분석하여 최종적인 설계대안을 확정하게 된다.

평가 기준	새부요인	평가점수 산정방법	계산식	평가자료																				
취급용이성 (H)	잡힘성 (H) • Gripper와의 접촉형태 및 접촉수 외의 한으로 평가점수 산출 접촉상태: 접촉형태 · 접촉수 { 면접촉 2 point 선접촉 3 point 점접촉 4 point • 볼트의 체결: 체결공구가 사기틀 가진경우 체결은 사기성이 있을수록 좋음. { 전접촉 스테인레스 니켈금속 • 동급간격 점수 (최고동급의 점수 - 최저동급의 점수) ÷ (동급의 갯수 - 1) * 최고동급점수 = 점입요소 존재(1) · 점접촉(7) + 점접촉수(2) · 자기성 유(3) = 7.5 최저동급점수 = 점입요소 존재(없음(0)) · 자기성 유(1) · 1 동급갯수: 6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>등급</th> <th>평가기준</th> <th>등급점수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 (최고점수)</td> <td> • 점입요소 존재 • 점접촉수 2 • 점접촉으로 loading 가능 • 자기성 유 </td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td> • 점입요소 존재 • 점접촉수 2 • 선 면접촉으로 loading 가능 • 자기성 유 </td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td> • 점입요소 존재 • 점접촉수 3 이상 • 점접촉으로 loading 가능 • 자기성 유 </td> <td>4.9</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td> • 점입요소 존재 • 점접촉수 3 이상 • 선 면접촉으로 loading 가능 • 자기성 유 </td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td> • 점입요소 존재하지 않음 • 자기성 유 </td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>6 (최저점수)</td> <td> • 점입요소 존재하지 않음 • 자기성 유 </td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	등급	평가기준	등급점수	1 (최고점수)	• 점입요소 존재 • 점접촉수 2 • 점접촉으로 loading 가능 • 자기성 유	7.5	2	• 점입요소 존재 • 점접촉수 2 • 선 면접촉으로 loading 가능 • 자기성 유	6.2	3	• 점입요소 존재 • 점접촉수 3 이상 • 점접촉으로 loading 가능 • 자기성 유	4.9	4	• 점입요소 존재 • 점접촉수 3 이상 • 선 면접촉으로 loading 가능 • 자기성 유	3.6	5	• 점입요소 존재하지 않음 • 자기성 유	2.3	6 (최저점수)	• 점입요소 존재하지 않음 • 자기성 유	1.0	
		등급	평가기준	등급점수																				
		1 (최고점수)	• 점입요소 존재 • 점접촉수 2 • 점접촉으로 loading 가능 • 자기성 유	7.5																				
		2	• 점입요소 존재 • 점접촉수 2 • 선 면접촉으로 loading 가능 • 자기성 유	6.2																				
		3	• 점입요소 존재 • 점접촉수 3 이상 • 점접촉으로 loading 가능 • 자기성 유	4.9																				
		4	• 점입요소 존재 • 점접촉수 3 이상 • 선 면접촉으로 loading 가능 • 자기성 유	3.6																				
5	• 점입요소 존재하지 않음 • 자기성 유	2.3																						
6 (최저점수)	• 점입요소 존재하지 않음 • 자기성 유	1.0																						
취급용이성 평가식	$H = H_1(X_1, X_2, X_3, X_4)$ (X1 : 볼트머리 형태, X2 : 볼트축 형태, X3 : 재질, X4 : 표면정도)																							

그림 18. 조립과정 중의 조립용이성 평가의 예

(2) 볼트의 조립용이성 평가치의 산정 다.

조립용이성을 고려한 볼트설계 전문가시스템에서 발생된 각 대안들에 대한 가능성도 산정을 수행하는 부분으로 앞에서 제시한 절차에 의해서 산정하게 되며, 마찬가지로 CUSTOM FORMULAS SYSTEM을 이용하였고, 여기서 정의된 가능성도의 의미는 발생된 각 설계대안에 대한 평가치의 의미로 사용하였

6. 시스템의 구조 및 사례연구

6.1 BDFA 시스템의 구조

본 연구에서 개발한 조립용이성을 고려한 볼트설계 전문가 시스템인 BDFA의 구조가 그림 20에 도시되어 있다.

		조립시스템							
		Object		M/C		Operation		합계 (Si)	가중치 (Wi)
		기하학적 특성	재질적 특성	Main Function	Sub Function	Main Function	Sub Function		
조 립 정 용 요 소 성	높임안정성	●	-	-	○	-	○	6.0	0.8
	운반용이성	●	●	-	●	-	●	12.0	1.6
	정렬용이성	●	-	-	○	-	○	7.0	1.0
	검사용이성	○	○	-	○	○	●	11.0	1.5
	취급용이성	●	●	●	-	●	○	14.0	2.0
	접근용이성	○	-	○	-	○	-	6.0	0.8
	삽입용이성	○	-	○	-	○	-	5.0	0.7
	체결용이성	●	●	●	-	●	-	12.0	1.6
조립시스템과 조립용이성 과의 중요도 관계								(S)	(W)
● : 3(중요함), ○ : 2(보통) ○ : 1(덜 중요함), - : 0(관계가 없음)								73.0	10.0
$S = \sum_{i=1}^8 S_i, \quad W = \sum_{i=1}^8 W_i$ $S_i = \text{●의 갯수} \times 3 + \text{○의 갯수} \times 2 + \text{○의 갯수} \times 1$ $W_i = (S_i \div S) \times W$ 여기서, S = 조립용이성 총관계점수 W = 조립용이성 결정요소의 가중치의 합 Si = 각 요소별 조립용이성 관계점수 Wi = 각 요소별 조립용이성의 가중치									

그림 19. 주관적 요인에 의한 가중치 산정

설계자가 조립정보를 쉽게 얻기 위해서, 또한 전문가시스템의 내용을 Graphic으로 정확하게 이해하기 위해서 CAD 시스템과의 연결이 필요하다.

본 연구에서는 AutoLISP와 C언어를 사용하여 EXSYS 환경에서 개발된 2개의 전문가시스템과 AutoCAD 시스템을 인터페이스시켰다. 또한 AutoCAD 환경에서 편리하게 전문가시스템을 이용할 수 있도록 AutoCAD 매

뉴에 별도의 사용자 메뉴를 만들어 추가하였다.

6.2 사례연구

본 연구에서 개발한 BDFFA 시스템을 이용하여 그림 21의 플랜지형 고정 커플링의 체결에 사용되는 육각볼트를 대상으로 조립용이성을 평가하고 조립용이성이 향상된 볼트를 재설계하는 사례를 제시한다.

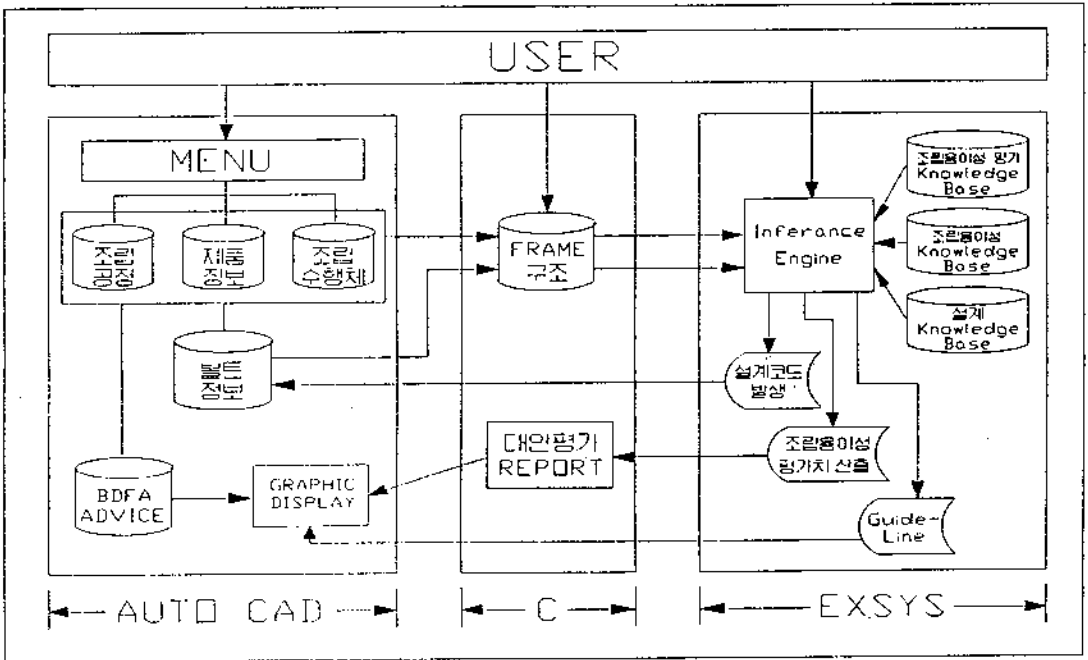


그림 20. 조립용이성을 위한 볼트설계 전문가시스템의 구조

①볼트의 용도 및 기능분석

본 사례연구에서 제시하는 볼트는 조립될 부품의 분리 가능한 체결에 사용되며, 체결주 기능을 수행하고 너트가 사용되는 관통볼트이다.

②기술적 영역의 정보 입력

조립용이성 분석에 필요한 입력정보, 즉 조립공정, 조립수행체, 조립될 부품, 볼트에 대한 기술적 영역의 정보들을 입력한다. 그림 22는 이러한 정보들을 AutoCAD 상에서 입력하는 한 예를 보여주고 있으며, 그림 23은 입력정보 Frame을 보여주고 있다.

③기존 볼트의 조립용이성 평가

AutoCAD로부터 받은 정보를 바탕으로 기존 볼트의 조립용이성을 평가한다. 기존 볼트의 평가결과는 조립용이성 평가시스템 내에서 8가지 조립용이성 결정요소 별로 평가

점수가 계산되어 점수치가 높은 순서대로 그림 24와 같이 문자 출력된다.

④취약점 분석 및 조립용이성 적용

본 사례연구에서 분석하고자 하는 볼트의 취약점은 와셔가 분리되어 있고, 볼트산의 형상이 한줄나사이므로 체결시간이 오래 걸리며, 체결공구로 스패너만을 사용한다. 또한 볼트끝이 납작하기 때문에 삽입의 어려움이 따른다. 따라서 삽입용이성 측면에서 볼트의 끝을 뾰족하게 함으로서 삽입을 용이하게 하고, 체결용이성 측면에서는 와셔를 일체화시키고 두줄나사를 사용함으로써 체결시간을 줄일 수 있으며, 스패너 외에 다른 체결공구를 사용하기 위해 볼트머리의 윗면에 십자구멍 형상을 부여함으로써 조립용이성을 향상시킬 수 있다.

그림 25는 취약점 분석 및 조립용이성을

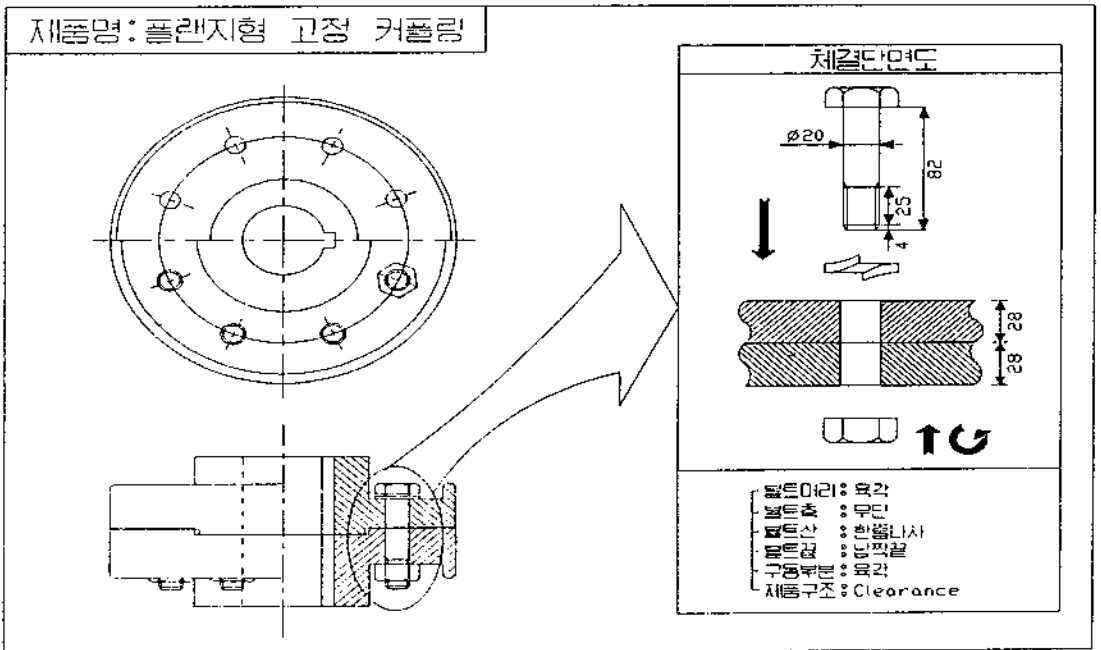


그림 21. Drawing of Case Study



그림 22. AutoCAD 상에서의 정보 입력의 예

♣ 조립공정 정보

MAIN PROCESS	SUB PROCESS(TRANSPORT)			SUB PROCESS (OTHER)			
ASSEMBLY TYPE/CONNECTION TYPE : STORAGE : GRASP/UNLOAD : MOVE /ALIGNMENT/PRESENCE /POSITION/QUALITY :							
1.0:	3.0:	2.0:	1.0:	3.0:	1.0:	1.0:	1.0:

♣ 조립수행체 정보

POWER TYPE :	EQUIPMENT					
MEASUREMENT/ESCAPE/TRANSPORT/ALIGNMENT/JOINING/CLAMPING :						
5.0:	2.0:	1.0:	2.0:	3.0:	6.0:	1.0:

♣ 조립될 부품 정보

CASES DIRECTION/PART FOR/PART2 FOR/ THROUGH BI :	L2 :	B3 :	K :
1.0:	4.0:	4.0:	1.0/28.0: 0.0/28.0/21.0:

♣ 볼트정보

BOLT H :	M :	BOLT C :	WASHER :	BOLT S :	L1 :	L11 :	L12 :	D1 :	D2 :	BOLT T :	L2 :	BOLT E :	L3 :	NOF :	L :	D :	BOLT M :	BOLT MARK/SIMBL :	
1.0:	20.0:	4.0:	4.0:	1.0:	53.0:	0.0:	0.0:	0.0:	0.0:	1.0:	25.0:	1.0:	4.0:	1.0:	35.0:	10.0:	1.0:	1.0:	1.0:

그림 23. 입력정보의 프레임 구조

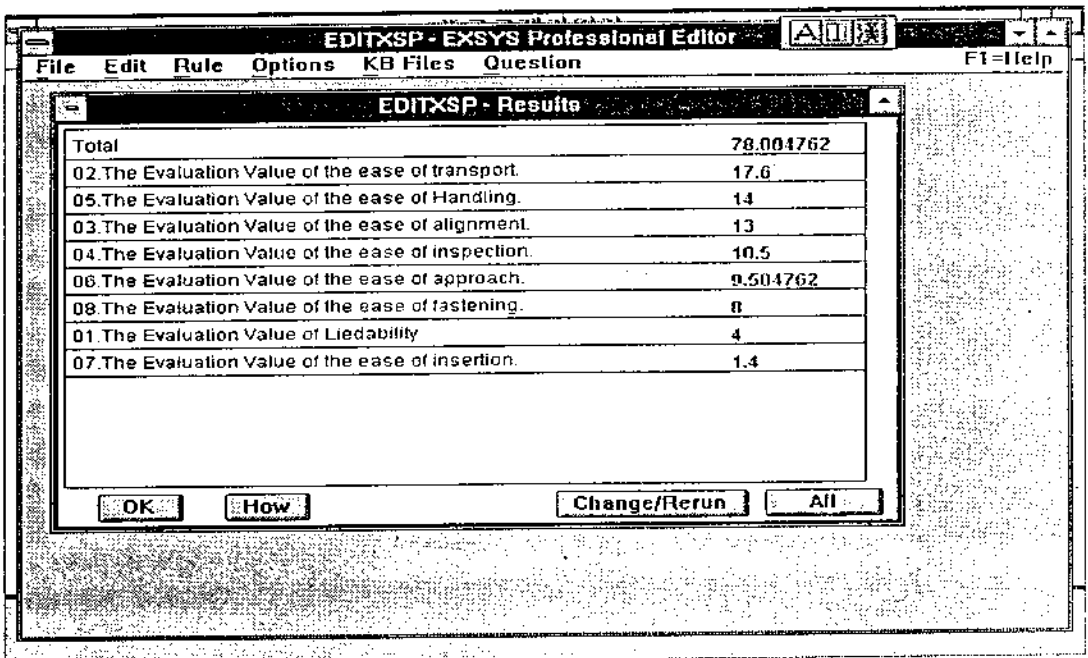


그림 24. 기존볼트의 조립용이성 평가

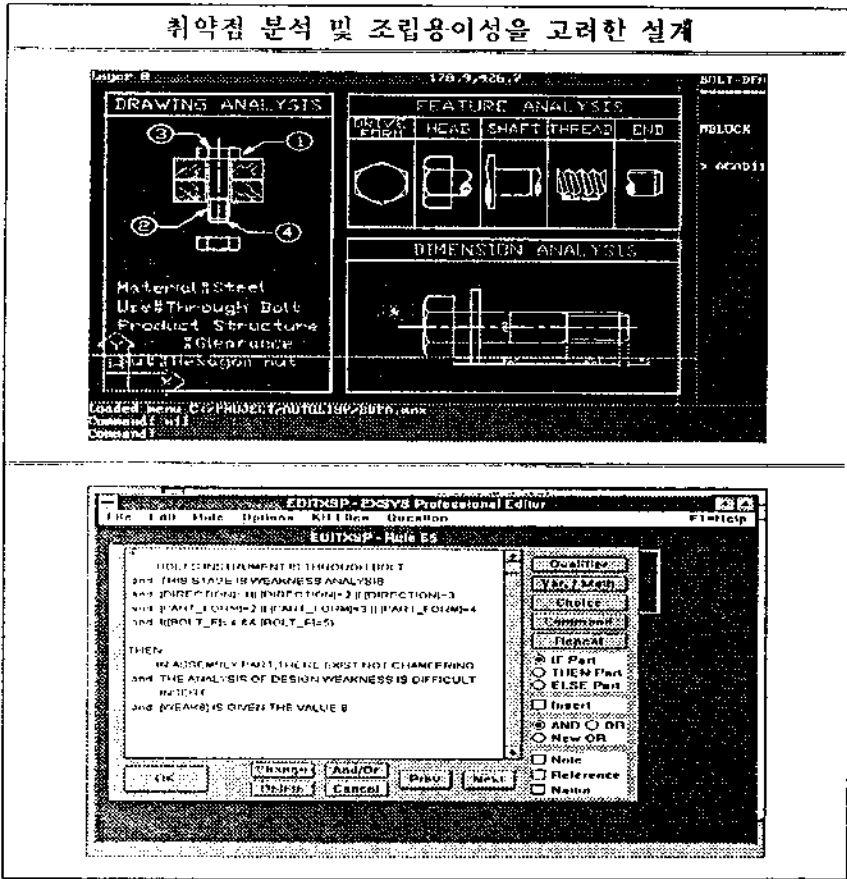


그림 25. 취약점 분석 및 조립용이성을 고려한 설계

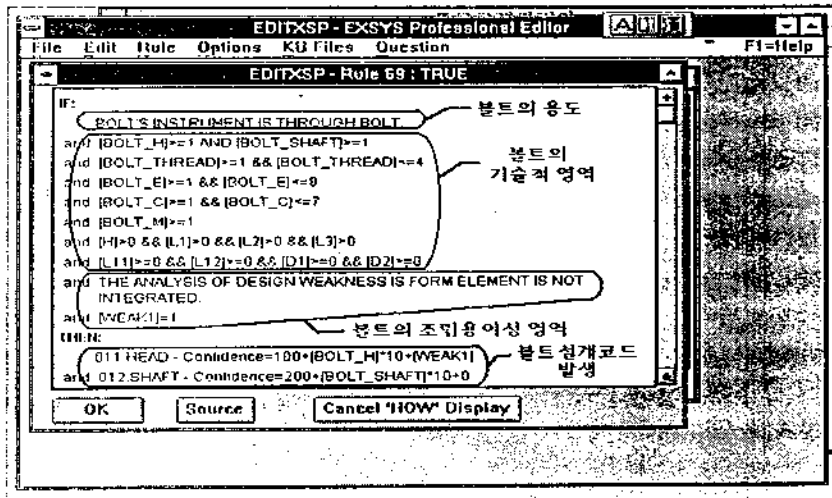


그림 26. 볼트의 설계코드 발생

고려한 볼트설계 대안을 발생시키는 하나의 Rule을 보여주고 있다.

⑤볼트의 설계코드 발생

파악된 취약점을 바탕으로 조립용이성을 고려한 설계원칙이 설정되면 이에 대한 설계 코드를 발생시킨다. 그림 26은 설정된 설계 원칙에 대해 설계코드를 발생시키는 하나의 Rule을 보여주고 있다.

볼트의 설계원칙에 대한 코드는 구성요소를 백단위로, 형상의 종류는 십단위로, 개선되어야 할 취약점은 일단위로 구성하여 3자리 숫자로 나타낸다. 예를 들어, 볼트의 머리 형상은 육각이고 와셔를 일체화 시켜야 한다면 코드는 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$\begin{aligned} \text{볼트머리 코드} &= 100 + \text{볼트머리의 형상} \\ &\times 10 + \text{취약점} \\ &= 100(\text{볼트머리}) + 1(\text{육각}) \times 10 + 1(\text{와셔} \\ &\text{不일체}) = 111 \end{aligned}$$

볼트축, 볼트산, 볼트끝, 구동부분, 재질 등도 똑같은 원칙에 의해 발생된다.

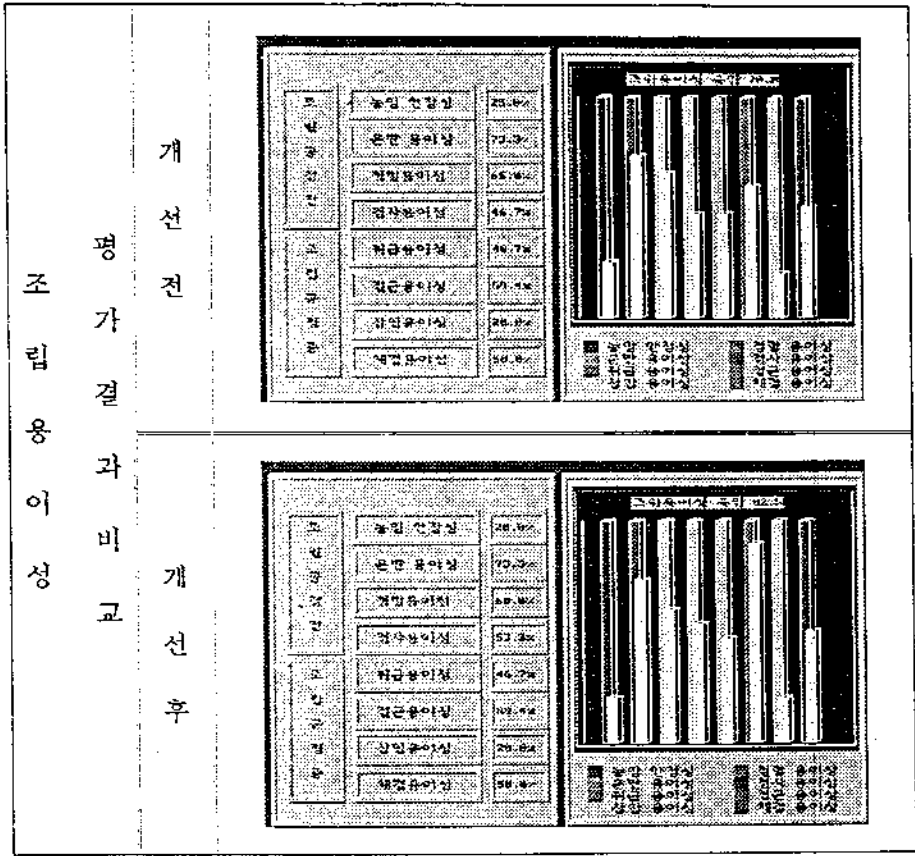
⑥개선 전과 개선 후의 볼트 비교 및 최적의 볼트 선정

그림 27은 개선 전과 개선 후의 조립용이성 평가치의 결과들을 서로 비교하여 보여주고 있다. 개선 후의 볼트는 볼트설계 대안 중 최고의 평가치를 갖는 대안이 선정되는데, 개선 전의 조립용이성 평가점수는 78점인데 반해, 개선 후의 평가점수는 82.5점으로 4.5점이 증가하였으므로 조립용이성이 향상된 것을 알 수 있다. 따라서, 개선 전의 육각볼트는 와셔의 일체화, 두줄나사, 십자 모양의 구

동형태 부여, 볼트끝을 뾰족하게 함으로서 조립을 쉽게 할 수 있다.

7. 결론

본 연구에서는 볼트의 특성요소 및 볼트체결의 메카니즘에 대한 분석이 있었으며, 볼트의 조립용이성을 향상시키기 위해서 볼트의 4대 구성요소들에 대한 특성이 파악되었다. 조립 공정 수행시점을 조립공정 전과 조립공정 중으로 나누어, 조립용이성의 성질을 결정해 주는 요소들이 분석되어졌다. 이를 기초로 볼트의 특성요소와 조립용이성의 상관관계가 파악됨으로서 볼트 설계시 고려해야 될 요소들을 제시하였고, 조립용이성 향상을 위한 볼트 설계 전문가시스템을 개발하였다. 본 시스템에서는 조립용이성을 고려한 개념설계를 바탕으로 볼트의 기술적 영역 및 조립용이성 영역을 고려하여 볼트를 설계하도록 하였으며, 이 전문가시스템을 AutoCAD 시스템과 인터페이스 시켜 볼트설계 작업시 개선된 볼트의 형상을 사용자가 참조할 수 있도록 하였다. 또한 볼트의 조립용이성을 평가할 수 있는 전문가시스템을 개발하여 조립용이성의 크기를 정량적으로 파악할 수 있는 기초적인 자료를 제공하였으며, 취약점을 분석하여 조립용이성이 향상된 볼트설계 원칙에 대한 설계코드를 발생시켜, 설계시 편리하도록 한 볼트설계 전문가시스템(BDFA)을 개발하였다. 따라서 BDFA 시스템은 볼트의 체결작업을 쉽게 하도록 볼트의 구조를 재설계하므로써 조립용이성을 높이고 이에 따라 조립생산성을 향상시키는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.



재설계된 볼트의 Graphic Display

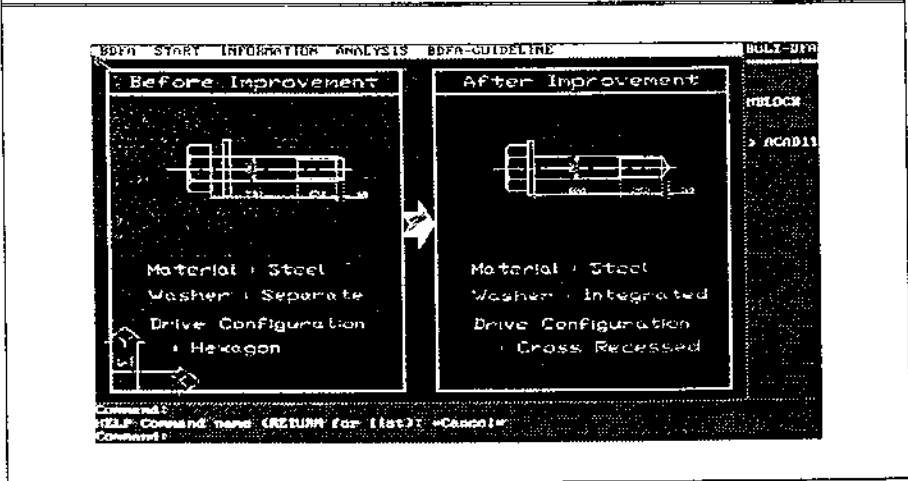


그림 27. 개선전과 개선후의 볼트형상 비교

6. 참고 문헌

- [1] 목학수, 정남수 “조립용이화를 위한 구조설계” 대한산업공학회, 90'춘계 공동학술대회 논문집, P 207 ~ 219. 1990.4
- [2] Beitz, W., Küttner, K.H. “Schrauben und Schraubenverbindungen” Dubbel, Taschen für den Maschinenbau, Springer-Verlag, 1981
- [3] VDI-Richtlinien “Methodische Auswahl fester Verbindungen” VDI 2232, 1990
- [4] VDI-Richtlinien “Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Zylinderische Einschraubenverbindungen” VDI 2230, 1986
- [5] 한국공업규격 KS B 0101
- [6] Eversheim, W. “Handhabungsgerechte Werkstückgestaltung für den Einsatz automatischer Handhabungseinrichtungen in Fertigung und Montage” WZL, Abschlussbericht, 1981.
- [7] Lotter, B. Manufacturing Assembly Handbook, Butterworths, 1986.
- [8] Feldmann, K., Steber, M. “Screw Fastening in Flexible Automated Assembly with Computer-integrated Process Control” Annals of the CIRP Vol 41./1/ 1992, P41 ~ 44
- [9] Donald A Waterman. “A Guide to Expert Systems”, Addison Wesley Publishing Company, Inc. 1986
- [10] Adedeji B. Badiru. “Expert Systems Application in Engineering and Manufacturing”, Prentice-hall, Inc. 1992, P 58 ~ 76
- [11] Exsys Professional, Advanced Expert System Development Software Manual, Vol 2, Exsys Inc, 1988.
- [12] F.W.Liou, D.J.Suen “The Development of a Feature-Based Fixture Process Planning System for Flexible Assembly” Journal of Manufacturing systems Vol 11/No 2.