

지능형 공작기계 설계 지원 시스템 개발

Development of Intelligent Design Support System for Machine Tools

차주현 (한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터), 김종호, 박면웅, 박지형

Joo-Heon Cha (CAD/CAM Research Center of KIST), Jong-Ho Kim, Myon-Woong Park, Ji-Hyung Park

ABSTRACT

We present a framework of an intelligent design support system for embodiment design of machine tools which can support efficiently and systematically the machine design by utilizing design knowledge such as objects(part), know-how, public, evaluation, and procedures. The design knowledge of machining center has been accumulated through interview with design experts of machine tool companies. The processes of embodiment design of machining center are established. We also introduce a hybrid knowledge representation so that the system can easily deal with various and complicated design knowledge. The intelligent design system is being developed on the basis of object-oriented programming, and all parts of a design object, machining center, are also classified by the object-oriented modeling. For the demonstration of effectiveness of the suggested system, a structural design system for machine tools is implemented.

Key Words : Intelligent CAD (지능형 컴퓨터 이용 설계), Machine Tool Design (공작기계 설계), Design Knowledge (설계지식), Knowledge Base (지식 베이스), Hybrid Knowledge Representation (조합형 지식표현), Object-oriented Modeling (객체지향 모델링)

1. 서 론

최근까지도 컴퓨터 이용 설계는 고작 설계대상의 일부분에 대한 단순한 계산과정이나 기하형상에 대한 표현과 그 정의에 불과하였다. 최근 이와 같이 형상정보가 생성되기 이전에 이용되는 설계대상이나 설계과정에 관한 수많은 설계지식을 체계적으로 활용함으로써 설계작업을 효율적으로 지원해주는 지능형 설계 지원 시스템 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻⁹⁾.

공작기계 설계는 매우 다양하고 복잡한 전문적 설계지식을 필요로 하며, 특히 설계자의 경험적 지식을 많이 필요로 하는 고도의 지적인 설계작업이다. 더구나 공작기계의 설계과정이 명확하게 규명되어 있지 않아 전체 설계과정을 체계적으로 지원해주는 설계 시스템의 구축이 곤란하다.

지금까지 공작기계 설계에 관한 연구는 주로 공작기계의 일부 모듈이나 주요 부품의 설계 해석을 위한 전용 소프트웨어 개발과 공작기계의 고정도화, 고능률화, 고속화 등 성능 향상을 위한 부분별 설계 자동화 및 특정 부품의 요소기술 개발에 관한 연구에 집중되어 있다. 또한 유한요소법 이론이나 모델

화 수법을 이용하여 공작물 형상으로부터 동력전달 및 형상창성 운동 구조를 해석적으로 생성하는 연구⁽¹⁰⁻¹²⁾가 있다. 그러나 이러한 연구들은 기계구조의 타입 결정시 고려되어야 할 타입별 정도, 절삭능력, 가공능률, 가격 등과 같은 설계 전문가의 경험적 지식을 배제하고 있어, 실제 현장에서 이를 공작기계 설계에 활용하는 데에는 여러 가지 문제가 있다.

최근 이와 같은 요소기술을 기반으로 새로운 타입의 공작기계가 잇달아 개발, 제품화되는 등 국내외의 공작기계 개발 환경이 매우 빠르게 변화하고 있을 뿐만 아니라, 공작기계에 대한 제품모델의 다양화 요구와 사용자의 주문생산 요구가 점점 확대되고 있어, 이러한 상황에 충분히 대처하기 위한 보다 효율적인 신개념의 설계 방식 도입이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 대표적인 공작기계의 하나인 머시닝 센터를 예로 들어, 머시닝 센터의 설계 전반을 체계적이고도 효율적으로 지원해주는 지능형 설계 지원 시스템 개발을 목표로 하고 있다.

본 논문에서는 현재 개발 중인 공작기계 기본설계를 위한 지능형 설계 지원 시스템을 구성하고 그 서브모듈의 하나인 구조형태계 설계시스템을 실제

로 구현해봄으로써 본 논문에서 제안한 공작기계설계를 위한 지능형 설계 시스템의 유용성을 확인하고자 한다.

2. 공작기계 설계과정의 분석 및 설계대상 모델링

2.1 설계과정의 분석

본 연구에서는 머시닝 센터의 기본설계를 고객의 요구사항으로부터 기계의 기종 및 타입, 사양, 기본구조 형상 및 각 구성모듈, 그리고 구성 핵심부품의 타입, 기본형상 및 배치를 결정하는 것을 기본설계로 정의하고, 설계자의 경험지식을 설계 규칙으로 최대한 활용할 수 있도록 함으로써 현장의 설계자가 이를 유용하게 사용할 수 있도록 배려하였다.

Fig. 1에서 보여지는 것과 같이, 정도등급, 강성, 절삭능력, 가공하고자 하는 대상물의 형태 및 가격 등과 같은 고객의 요구사항을 초기입력으로 하고 이것으로부터 기종 및 타입 등의 전체 구조적인 형태를 결정하게 되고 전용 해석 소프트웨어 등의 평가도구를 이용하여 설계평가를 실시한다.

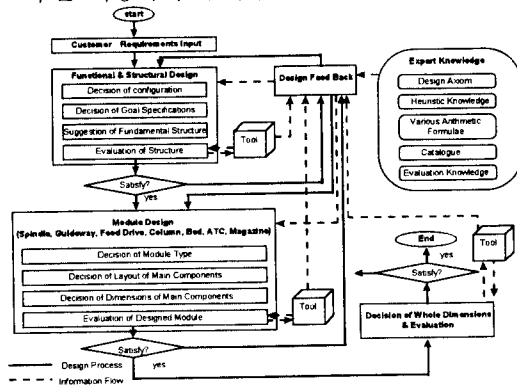


Fig. 1 Design Process of Machining Center

평가의 결과가 만족스럽지 않을 때는 다시 재설계를 행하도록 하는데 이상의 과정을 거치는 동안에 단계 마다 설계 경험자의 경험지식과 기술 혹은 정보자료 등을 지식베이스로 충분히 활용하도록 함으로써 설계의 신뢰성과 효율성을 높이도록 한다. 구조설계가 끝나면 다음으로 각 주요 구성모듈의 설계가 이루어 지는데, 보편적으로 주축 → 컬럼 → 가이드웨이 → 구동부 → 베드 등의 순서로 각 모듈별 설계가 이루어지고 있고 각각의 설계결과가 서로 영향을 끼치게 됨으로써 실제로 현장에서는 각 모듈 설계 담당자들이 설계가 진행되어짐에 따라 상호 지속적으로 정보를 교환하며 설계가 끝날 때까지 거의 동시적으로 설계를 수행하고 있다.

그런데 각 모듈별 설계가 끝나면 머시닝 센터의 전체 구조 및 각 모듈 구성부품의 배치와 형상이 확정되고 기본설계가 완료되지만 전체 기본구조의 형상이 설계가 진행됨에 따라 실제로는 약간의 변화가 생기게 된다. 따라서 좀더 완벽한 설계를 수행하기 위한 수단으로서 각 모듈설계의 종료시 이들을 전체 구조를 재평가 함으로서 설계의 최종 검증을 수행한다.

2.2. 설계대상의 객체지향 모델링

지금까지 연구되어온 머시닝 센터의 설계대상에 관한 연구 중 대표적인 만한 것으로는 森脇俊道⁽¹³⁾의 객체지향 설계지원 시스템에 관한 연구가 있다. 여기에서는 머시닝센터를 구성하기 위한 필수적인 구성유닛 및 부품을 Part_of 관계로 규정하고, 각 필수 구성요소들의 여러가지 타입을 Is_a 관계로 규정하였으며, 설계 파라미터의 결정이 다음 단계의 설계대상에 설계제약으로 작용함을 고려한 설계대상의 계층구조를 제시하였다. 본 연구에서도 이와 마찬가지로 머시닝 센터를 구성하는 핵심모듈 및 구성부품을 분석하여 그 관계를 설정하고 앞 절에서 기술한 설계과정을 중심으로 설계대상의 계층구조를 제안하기로 한다.

Fig. 2에서와 같이 머시닝 센터의 필수 구성요소를 Part_of 관계 그리고 구성요소별 타입들을 Is_a 관계로 도시하였다. 실제로 본 시스템의 구현은 객체지향 언어인 C++로 구현되며 각각의 구성요소는 하나의 클래스로 표현된다. 여기에서 Part_of 관계는 구성요소의 객체(Object)로 생성되며 포함관계가 성립되도록 하며 Is_a 관계는 상위 클래스의 속성을 그대로 상속받는 계승관계로 설정된다.

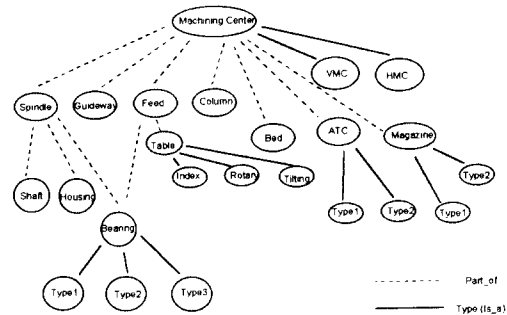


Fig. 2 Hierarchy of Machining Center Classes

3. 조합형(Hybrid) 설계지식의 표현

머시닝 센터 설계에 필요한 설계지식들은 그 구성이 복잡하고 다양하기 때문에 기존의 전문가 시스템

템에서 흔히 사용되는 단순한 지식표현 기법으로서
는 충분하게 표현할 수 없다. 따라서 본 연구에서는
이와 같이 복잡 다양한 머시닝 센터의 설계지식을
정확하게 표현할 수 있도록 Fig. 3와 같은 조합형
(Hybrid) 지식표현을 도입함으로써 설계지식을 효율
적으로 활용할 수 있도록 한다. 그 조합형(Hybrid)
지식표현은 다음과 같다.

1) 프로덕션 시스템(Production System)

IF~THEN 형식으로 표현되는 규칙 베이스로
주로 설계자의 경험적 지식을 표현한다.

2) 제약 네트워크(Constraint Network)

등식과 부등식 등과 같이 정형화된 설계제
약을 설계변수와 설계제약으로 구성되는 네트
워크(Network) 형태로 표현하는 지식표현 방법
이다⁹⁾.

3) 객체지향 데이터베이스(Object-oriented DB)

지능형 설계 시스템 전체의 유연성, 확장성,
독립성을 위해 객체지향 모델링을 도입하고,
객체지향 데이터베이스(Object-oriented DB)와
연계하여 기존 데이터베이스에서 수용하기 곤
란한 기계설계 및 공학에 포함되는 다양하고
복잡한 데이터 수용이 가능하도록 한다. 이를
위해 본 연구에서는 UniSQL사의 UniSQL을
채용하였다.

4) 순차 프로그램(Procedural Program)

응력계산이나 변형계산 등과 같이 설계과정
상에 있어서 입력에서 출력까지 순차적으로
계산되는 서브루틴이나 단순한 절차를 포함하
는 지식 표현이다.

4. 지능형 설계 지원 시스템의 구성

본 연구에서는 지능형 설계 지원 시스템을 구성하
기 위해, Fig. 4과 같은 7개의 서브시스템을 제안한
다.

1) 지식 베이스

기계공학 편람, 설계 핸드북 등에 게재되어
있는 그래프 및 테이블 데이터, 설계공식, 설
계 노하우, 설계평가 지식, 카타로그 데이터,
표준 부품에 관한 데이터 등의 설계지식이 저
장된다.

2) 지식획득 시스템

지식획득 시스템은 지식 베이스의 설계지식
을 증가시키거나 기존의 설계지식에 대한 수정
및 보수를 수행함으로써, 끊임없이 변화하
는 지식 베이스의 설계지식이 항상 모순이 없
도록 유지, 관리하는 기능을 수행한다.

3) 설계관리자(추론엔진)

지식 베이스에 저장되어 있는 설계지식을
활용하여 모든 설계제약이 항상 만족되도록
추론과정을 수행함으로써 설계자의 설계작업
을 지원해준다.

4) 솔리드 모델러(Solid Modeler)

형상 클래스에 정의된 기하학 속성치에 의
해 각 부품별로 솔리드 형상을 생성시켜 조립
된 형태의 머시닝 센터 형상모델을 생성시킨
다. 또한 생성된 형상모델을 통하여 화면 상
에서 변경할 수 있는 작업환경을 제공하며,
형상모델의 기하학 정보를 해석모듈의 입력으
로 사용함으로써 해석모듈과의 연계를 자동으
로 수행해준다.

5) 사용자 인터페이스(User Interface)

설계자는 인터페이스를 통하여 시스템과 상
호 대화하면서 설계과정 및 추론기능, 이벤트
조작을 제어하는 기능을 수행한다.

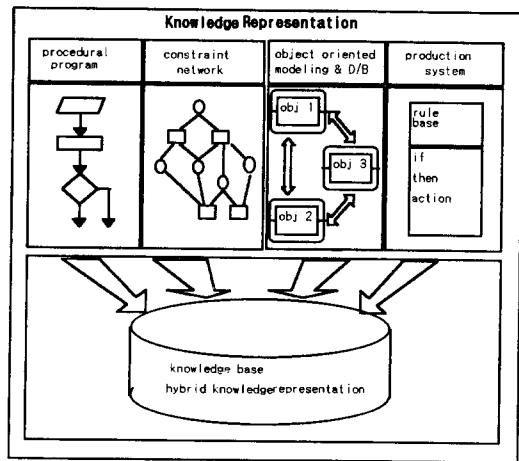


Fig. 3 Hybrid Knowledge Representation

6) 디자인 프로세스 콘트롤(Design Process Control)

설계변경의 이력을 보관하고 관리하여 설계
자가 이전의 잘못된 설계를 재설계 과정에서
또다시 반복하는 실수를 방지하는 기능을 부
여한다.

7) 해석 S/W (Analysis Software)

설계된 머시닝 센터의 구조와 각 모듈별 성
능을 해석하기 위한 수단으로서, 구조의 진동
특성과 에너지분포 해석을 위한 프로그램, 주
축의 동특성 및 정도 해석을 위한 주축용 해
석 프로그램, 가이드웨이 및 구동모듈의 동특
성 해석을 위한 프로그램으로 구성되며, 솔리
드 모델러와의 인터페이스를 통하여 해석 결

과를 그래픽으로 도시하고 추론엔진과의 정보 교환을 통하여 설계변경시 평가기준으로 활용한다.

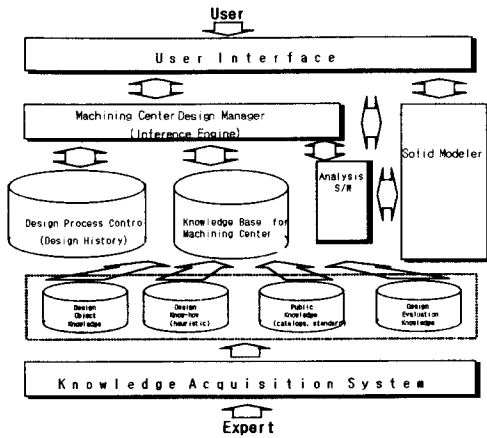


Fig. 4 Configuration of Intelligent Design System for Machining Center

5. 구조형태 설계 시스템의 구현

다음에서는, 이상과 같이 제안된 지능형 시스템을 실제 머시닝 센터의 구조선정 및 형상설계에 적용하여 본다.

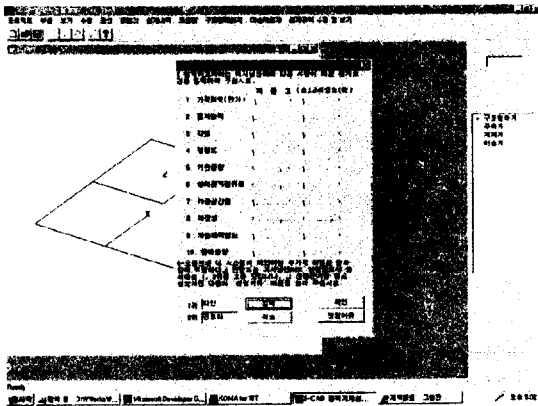


Fig. 5 User requirements input and suggestion of adapted machining center type

여기에서, 솔리드 모델러와 사용자 인터페이스는 Microsoft Visual C++4.2 로 구현되었고, 지식베이스 및 추론엔진은 K-prolog 와 C++ 로 구현된 제약네트워크가 혼용되었다. 구조형태 설계 해석 프로그램으로는 전용 Fortran 해석 프로그램이 채용되었다.

먼저, Fig. 5에서는 설계하고자 하는 머시닝 센터

의 정밀도, 가격, 확장성, 자동화적합도, 칩배출량 등과 같은 정성적인 설계요구 사항을 입력하면 다차원 평가방식⁽¹⁴⁾의 추론을 통하여 적합한 머시닝센터의 타입을 선정하여준다.

타입이 선정되고, Fig. 6에서와 같이 X,Y,Z 스트로크와 주요 형상변수를 테이블 칫수와 설치공간과의 상관관계에 의해 결정하면, Fig. 7에서는 같은 조립체 형상이 시스템에 의해 자동적으로 제안되고 사용자는 Fig. 8과 같이 ATC, Magazine, Controller 와 같은 부가질량요소를 첨가하거나 형상변경을 수행한다.

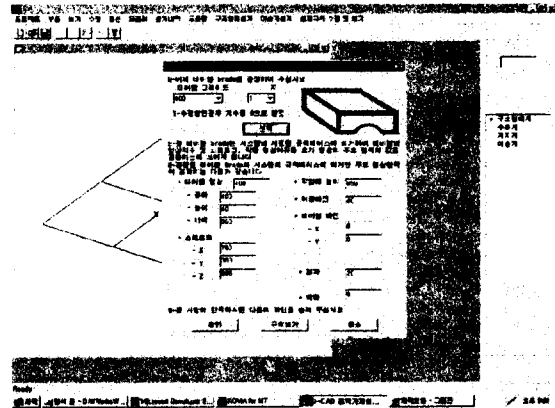


Fig. 6 The decision of structural shape specifications

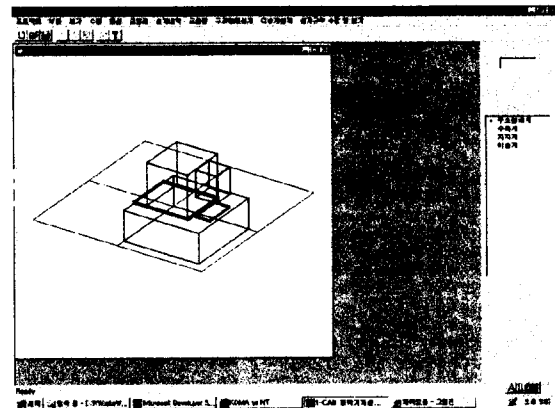


Fig. 7 The solid model of assembled structure of the selected machining center

그러면 시스템은 해석을 위한 해석도를 Fig. 9와 같이 자동적으로 구성하고, Fig.10 과 Fig. 11에서 처럼 해석된 결과를 설계자에게 보여주게 된다. 이상의 해석결과가 만족스럽지 못할 때에는 Fig. 12와 같은 각 구성요소의 에너지 분포 해석을 통하여 에너지 준위별로 표현함으로써 설계변경의 용이성을

극대화 하도록 했다.

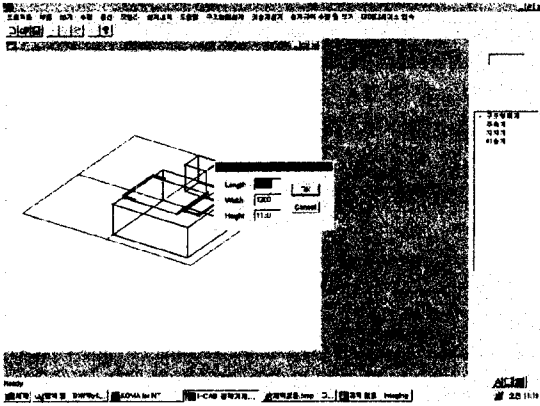


Fig. 8 User modification of suggested structure shape

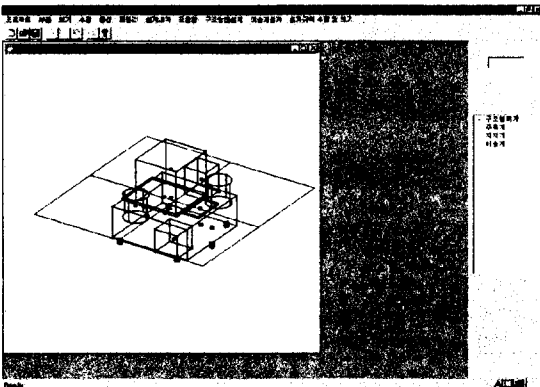


Fig. 9 The analysis of performance of designed structure

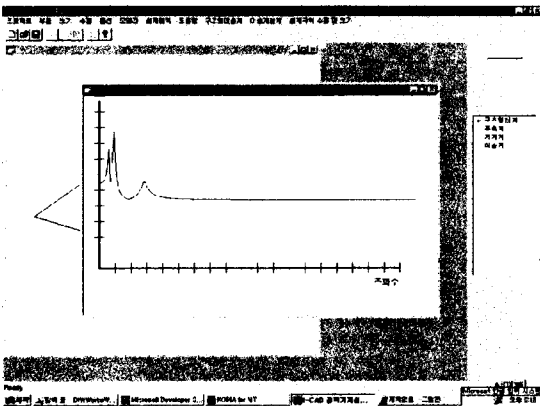


Fig. 10 Natural frequencies and amplitude

7. 결론

본 연구는 대표적인 공작기계의 하나인 머시닝 센터를 예로 들어, 머시닝 센터의 설계 전반을 체계적이고도 효율적으로 지원해주는 지능형 설계 시스템 개발을 목표로 하고 있다.

이를 위해, 본 연구에서는 먼저 현장의 설계 전문가와의 인터뷰를 통하여 획득한 머시닝 센터 전체의 설계과정을 확립하였고, 설계지식을 효율적으로 표현하기 위한 조합형 지식표현을 제안하였다. 한편 머시닝 센터를 구성하는 모든 부품요소 및 그 형상요소를 객체지향 기법에 의해 모델링하였다.

이를 토대로 공작기계 기본설계를 체계적으로 지원할 수 있는 새로운 형태의 지능형 설계 시스템의 구성을 제안하였으며, 머시닝 센터의 구조설계에 적용하여 그 유용성을 검토하였다.

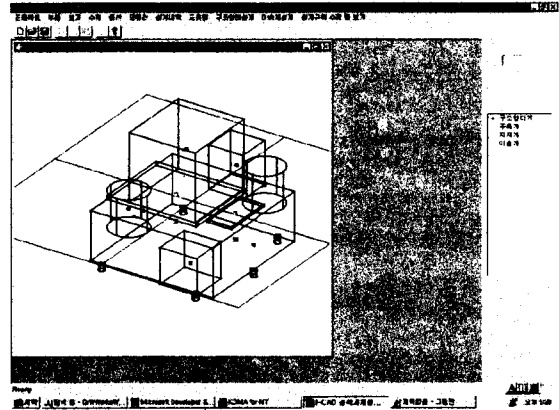


Fig. 11 Vibration mode on each natural frequency

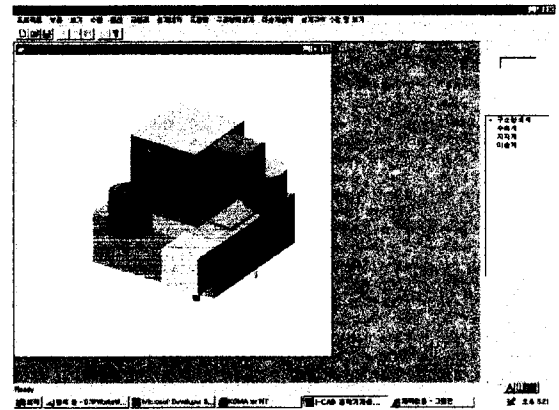


Fig. 12 Energy distribution of core-units of machining center

후기

본 연구는 핵심 산업기계 기본설계 시스템 개발과제의 수행을 위한 것으로 참여기업으로 연구에 협조하여 주신 (주)현대정공, (주)삼성항공, (주)화천기공 관계자 여러분들께 진심으로 감사를 드립니다.

1. 長澤勲, 古川由美子, “拘束條件リダクション法を用いた機械設計支援システム”, 日本情報處理學會論文集, Vol.27, No.1, pp.112, 1986.
2. 赤木新介, 藤田喜久雄, “オブジェクトに基づくエキスパートシステムの研究”, 日本機械學會論文集(C編), Vol.54, No.500, pp.1017, 1988.
3. Young, R.E., Greef, A. and O'Grady, P., "SPARK - An Artificial Intelligence Constraint Network System for Concurrent Engineering", in Gero, J.S.(ed.), Artificial Intelligence in Design'91, 1991.
4. Serrano, D. and Gossard, D.C., "Tools and Techniques for Conceptual Design", in Tong, C. and Sriram, D. (ed.), Artificial Intelligence in Engineering Design, Academic Press Inc., 1992.
5. Cha, J.H., Yokoyama, M. and Itaru, O., "A Knowledge-Based System for Mechanical CAD", ICED'93, pp.1335, 1993.
6. 車周憲, 横山正明, “機械系 CAD 支援のための一つの知識ベースシステム”, 日本機械學會論文集(C編), Vol.60, No.579, pp.3625, 1994.
7. Cha, J.H. and Yokoyama, M., "A Knowledge-Based System for Mechanical CAD", ICED'95, pp.1382, 1995.
8. 차주헌, "형상 패턴 인식을 이용한 설계자료의 자동 탐색", 대한기계학회 논문집(A 편), 제 21 권, 제 4 호, pp.634, 1997.
9. 차주헌, 이인호, 김재정, “Simulated Annealing 을 이용한 제약 네트워크에서의 제약충족 방식에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제 14 권, 제 9 호, pp.116, 1997.
10. 新野秀憲, 伊東諠, “工作機械の構造創成方法 (第 2 報, フリ-デザイン方式による創成)”, 日本機械學會論文集(C編), Vol.50, No.459, pp.2192, 1984.
11. 新野秀憲, 伊東諠, “工作機械の構造創成方法 (第 3 報, 結合ボタン-を用いたバリエーション方式による創成)”, 日本機械學會論文集(C編), Vol.52, No.474, pp.788, 1986.
12. 朴來卿, 横山正明, 新野秀憲, “機械構造の自動生成に関する基礎的研究 (第 4 報)”, Vol.55, No.514, pp.1556, 1989.
13. 森脇俊道, 布引雅之, “オブジェクト指向に基づく工作機械設計支援システムの開発”, 日本機械學會論文集(C編), Vol.58, No.546, pp.655, 1992.
14. Shinno H, Nakanishi S and Ito Y, "Decision Making by Means of Multi-dimensional Evaluation Vectors in