

# 지능형 설계시스템 : 설계모델과 인공지능 기법을 중심으로

연 윤 석  
대전대학교 기계설계공학과

80년대 초반을 시발점으로 하여 최근까지 지능형 설계시스템에 대한 관심과 연구가 대폭적으로 증가하고 있는 추세이다. 지능형 설계시스템이 포함하는 범위는 매우 넓기 때문에 본稿에서는 주로 인공지능기법과 관련된 설계모델이나 방법론을 살펴보고 앞으로의 발전 방향을 가늠해 보고자 한다.

## 1. 설계이론과 설계방법론

현재까지 설계에 대한 정의를 내리기 위해서 수많은 시도가 이루어져 왔지만, 이것은 연구자의 주관적 관점이나 관심 있는 설계대상체(Design object)의 특성이 반영된 것이 대부분이다. 그러나 이러한 정의들의 공통된 요소를 반영하여 다음과 같이 설계를 정의하여도 큰 오류가 없을 것으로 판단된다.

설계란 설계요구 조건들을 확립한 후, 이 조건들로부터 요구되는 기능과 성능을 밝히고, 다시 이것을 기초로 전문지식이나 창조적 행위를 통해서 생산 및 제조에 필요한 명세를 도출하는 과정이다.

설계이론이나 방법론들은 지능형 또는 자동 설계시스템 구축에 가장 초석이 된다고 할 수 있다. 60년대부터 몇가지 설계이론이 제시되어 왔으며, 최근에는 인공지능 기법을 이용한 설계이론이나 방법론에 대한 연구가 증가하고 있는 추세이다. 설계이론이나 방법론은 설계 자체가 무엇인가?, 설계 자체를 어떻게 이해해야 할 것인가?, 설계과정(Design process)이란 무엇인가?, 설계과정을 어떻게 정식화(Formulation)인가?, 설계를 어떻게 수행할 것인가? 그리고 설계에 사용될 유용한 도구(Tool)는 무엇인가? 등에 관련된 연구 분야이다. 컴퓨터 응용을 전제로한 설계이론에 대하여 급격한 관심을 보이게 된 것은 컴퓨터의 눈부신

발전에 힘입은 바도 있지만 전문가 시스템(Expert system) 또는 지식베이스 시스템(Knowledge-based system)의 출현이 그 직접적인 계기가 되었다고 판단된다. 70년대 이전의 인공지능 분야에서는 주로 일반적인 문제해결전략의 개발에 몰두했지만, 이것은 실용적인 문제의 해를 얻기에는 거의 불가능한 방안들이 대부분이었다. 이와 상반된 관점에서 출발한 것이 전문가 시스템 접근 방식인데, 강력한 문제해결전략 대신에 매우 좁은 영역에서 축적된 양질의 전문지식에 비교적 간단한 추론전략 즉 문제해결전략을 적용하는 방법이다. PROSPECTOR의 눈부신 성공에 힘입어 전문가 시스템이 크게 부각되었고, 당연히 설계전문가 시스템의 개발을 위한 많은 연구가 수행되었다. 그러나 근본적으로 전문가 시스템은 진단과 같은 문제영역에 적절히 적용될 수 있는 것이지 설계와 같이 고도의 지적이고 복잡한 행위에는 부합될 수는 없는 것이다. 80년대에 설계 전문가 혹은 지식베이스 시스템에 관련된 대표적인 논문들에서 이와 같은 문제점들이 지적되면서 설계에 대한 체계적인 이해가 필요함이 점차 인식되게 되었다. 특히 Brown과 Chandrasekaran은 설계를 3종류로 분류하려는 시도를 하였고<sup>1)</sup>, 이후에 Gero 등에 의해 설계이론이 부각되었고, 89년에 ASME에서 DTM(Design Theory and Methodology) 학술회의가 그리고 91년에 Artificial Intelligence in Design 학술회의가 개최되기 시작하였다.

## 2. 설계의 분류

최근에 제시된 대표적인 설계모델 또는 방법론을 살펴보기 전에 Brown과 Chandrasekaran이 제시한 3단계 설계 분류를 간략히 살펴볼 필요가 있다.

◎ **일상설계(Routine design)**

과거에 설계된 자료가 충분히 축적되어 있고, 설계 변수(Design variable)나 이것을 계산하기 위한 지식이 이미 잘 알려져 있는 경우이다. 또한 설계대상체의 특징이나 구조가 이미 정해져 있고, 설계과정은 주로 단순한 문제분해(Problem decomposition) 과정에 의해서 설계변수의 값을 산정하게 된다. 따라서 새로운 설계작업시 과거의 설계자료가 충분히 활용될 수 있다. 이것이 있을 수 있지만 재설계(Redesign)도 일상 설계에 포함시킬 수 있다고 판단된다. 여기서 재설계는 Adaptive 설계와 Variant 설계를 의미한다.

◎ **혁신설계(Innovative design)**

일상설계와 유사한 성격을 띄고 있으나, 설계의 해는 단순히 설계변수의 재 조정을 통해서 얻어지는 것이 아니다. 이미 잘 알려진 여러 하위 요소(Components)들의 다양한 합성(Synthesize)에 의해 설계대안(Design alternative)이 생성되고 이것을 평가하여 설계 해가 얻어진다. 경우에 따라서는 생성된 대안이 기존의 것과는 차이를 보이는 새로운 설계 해가 될 수 있다.

◎ **창조적설계(Creative design)**

과거의 설계와는 차이점을 보이는 새로운 요구 조건이나 특성이 요구되는 경우로 설계과정 또한 설계 작업 전에 알려져 있지 않다.

일상설계 단계에는 최적화 기법이나, 사례기반 추론(Case-based reasoning) 그리고 설계원형(Design prototype) 등 다양한 기법으로 설계시스템을 구축할 수 있다. 그러나 혁신설계에는 적절히 적용될 수 있는 일반적인 문제해결 전략이 아직 개발되어 있지 않아, 각 문제영역의 특성에 맞는 독특한 방법을 채용하는 경우가 대부분이다. 창조적설계를 수행할 수 있는 시스템의 구축은 매우 어려운 것으로 판단되나 유사성에 의한 추론(Analogical reasoning)과 돌연변이(Mutation) 연산자를 사용하여 창조적설계를 시도한 연구를 찾아볼 수 있다<sup>2)</sup>.

**3. 설계모델 및 인공지능 기법**

최근에 제시되고 있는 설계모델, 방법론 그리고 인공지능 기법 중 자동 설계시스템 구축과 밀접한 관련이 있는 것만 대략적으로 살펴보면 다음과 같다.

◎ **Function, Structure 그리고 Behavior<sup>3)</sup>**

설계대상체에서 요구되는 기능(Function)은 추상화 단계별로 구성하는데, 최종 하위 단계에서는 구성 요소의 기능에 구체적으로 대응될 수 있도록 상세히 기술한다. 구조(Structure) 또는 폼(Form)은 크게 Configuration과 Sizing으로 구별된다. 분해된 기능으로부터 구성 요소를 선정하고, 이것을 합성하여 설계대안(Design alternative)의 Configuration을 결정하게 된다. 이때, 구성 요소의 모든 치수를 산정해야 되는데 이것이 Sizing 문제에 해당된다. 설계대안이 어느 정도 요구되는 기능과 부합되는지를 검토해야 하며, 이를 위해서 설계대안의 거동(Behavior)을 추정해야 한다. 이 과정이 평가(Evaluation)에 해당된다. 이 내용들을 나타낸 것이 Fig. 1이다. 이 설계모델은 여러 분야에 많이 적용되고 있는데, 설계공간(Design space)이 이산화(Discreet) 되지 않으면 적용하기 어렵다는 단점이 있다<sup>4)</sup>. 즉 전기회로 설계와 같이 이산화 된 성격을 갖는 경우 기능과 구조간의 매핑(Mapping)이 용이하나, 기계 설계의 경우는 대부분 연속성을 갖고 있기 때문에 적용하기가 어렵게 된다. 가장 간단한 예로 기둥(Column)은 비틀림 모멘트(Twisting moment)에 저항하는 부재 뿐만 아니라 굽힘 모멘트(Bending moment)에도 저항하는 부재로도 사용될 수 있다. 더욱이 설계 요구조건으로부터 기능을 계층적으로 분리해 내는 작업이 용이하지 않은 경우가 매우 많다.

◎ **Decision Based Design<sup>5,6)</sup>**

DBD(Decision Based Design)은 설계의 일련과정을 설계자의 연속적인 의사결정 과정이라고 보며, 설계

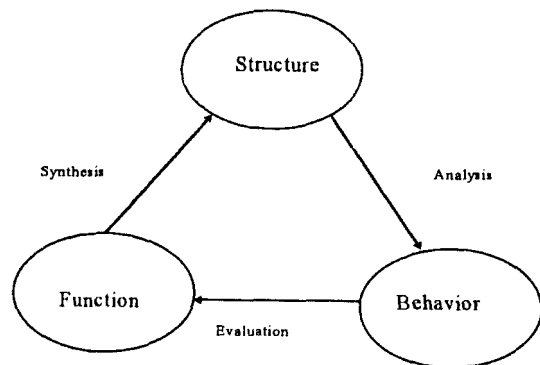


Fig. 1. Function, Structure and Behavior.

를 수행하기 위하여 DSPT(Decision Support Problem Technique)을 사용한다. 설계과정 중에 필요한 의사결정 과정은 크게 선택(Selection), 타협(Compromise), 그리고 이 둘의 결합으로 나뉜다. 선택결정의 목적은 요구되는 기능(Function)을 바탕으로 여러 설계대안의 속성(Attribute)을 평가하여 우수한 설계대안을 결정하는 것이다. 타협결정의 목적은 구속조건(Constraint)과 설계목표(Design goal)들을 가장 잘 만족시킬 수 있는 설계변수의 값을 결정하는 것이다. 즉, 여러 설계목표는 서로 상충되는 것이 일반적이기 때문에 적절한 타협이 필요하게 된다. 선택과 타협이 결합된 결정은 선택결정의 목표와 타협결정 목표를 동시에 가장 잘 만족시킬 수 있는 설계대안을 선정하고, 이 대안의 설계변수 값을 산정하기 위한 것이다. 이때 선택결정시 사용되는 속성은 타협결정시 사용될 설계변수들로 이루어진 함수가 된다. 또한 타협결정시 필요한 구속조건과 설계목표는 선택결정에서 결정된 설계대안으로부터 얻어지게 된다. DBD는 수학적 모델로 구축될 수 있기 때문에 최적화 기법이 용이하게 적용될 수 있다는 장점이 있고, 실제 선박설계에 성공적으로 적용된 사례가 보고되어 있다. 그러나 DBD는 주로 Adaptive 설계와 Variant 설계 등에만 적절히 적용될 수 있다.

◎ Evolutionary Design Model<sup>9)</sup>

이 설계모델은 기능(Function), 구조(Structure), 거동(Behavior) 이외에 설계자의 의도(Intention) 그리고 설계대상체가 작동 또는 사용될 환경(Environment)을 도입하고, 이를 바탕으로 설계과정에서 교배 메카니즘(Cross-over mechanism)과 돌연변이 메카니즘(Mutation mechanism)을 사용하고 있다. 그런데 그 주요 내용은 진화적 계산(Evolutionary computation) 모델의 내용을 차용한 것에 불과하고, 설계자의 의도나 환경을 구체적으로 파악하기가 애매하다는 단점이 있다.

◎ Design Grammar<sup>8)</sup>

설계대상체가 하부 구성 요소들로 분해될 수 있고, 설계작업이 주로 이 요소들의 선택과 합성이 주가 되는 경우에 Grammatical design 기법이 적절히 적용될 수 있다. 구성 요소들이 어휘(Vocabulary)로 표현되고, 이 어휘들을 사용하여 어떠한 경우에 합당한 합성이 이루어질수 있는가를 규칙 또는 문법으로 나타낸다. 설계는 초기의 상태(Initial state)에서

이 규칙들은 반복적으로 적용함으로써 설계목적에 부합될 최종 상태(Final state)에 이르게 되는 일련의 과정으로 정의된다. 이것은 마치 번역기(Translator)를 사용하여, 어떤 컴퓨터언어를 다른 컴퓨터언어로 변환하는 과정과 유사하며, 컴퓨터 프로그래밍언어와 같이 규칙 표현을 위한 구문(Syntax) 선정, 그리고 규칙을 적용하여 생성된 설계 대안의 Semantics 즉 타당성 검토가 주요 문제로 대두된다. 또한 규칙을 맹목적으로 적용해서 최적의 설계 해를 도출할 수 있는 것이 아니기 때문에, 규칙 적용을 제어할 수 있는 전략이 필요하게 된다. 지금까지 이 문제는 아직 완전히 해결되어 있지 않으나, 주로 SA(Simulated Annealing) 기법을 많이 사용하고 있다<sup>9)</sup>.

◎ 구속조건 네트워크(Constraint network)<sup>10,11)</sup>

설계는 주어진 모든 구속조건식을 만족시킬 수 있는 설계변수들의 값을 산출하는 과정이라고 보는데, 여기서 구속조건식은 설계에 필요한 여러 수식을 포함한다. 이 수식들에 사용된 설계변수들은 서로 교차참조하게 되는데 이것은 네트워크형태로 표현된다. 간단한 예를 들면 Fig. 2와 같다. 이 네트워크를 이용하여, 만일 Stress, h 그리고 l의 값이 주어지면 M과 b를 구할 수 있게 되고, P, L, b 그리고 l 값이 주어지면 이로부터 M, h, Stress를 구하게 된다. 이 예에서 알 수 있듯이 주어진 변수의 값을 사용하여 구속조건식이 만족될 수 있는 다른 변수들의 값을 매우 유연하게 구할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 구속조건 충족 알고리즘(constraint satisfaction algorithm)을 구현하기 위한 노력이 필요하고, 식이 서로 상충되거나 폐루프(closed loop)가 존재할 때 이것을 처리하기 위한 별도의 노력이 수반되어야 한다. 더욱이 대

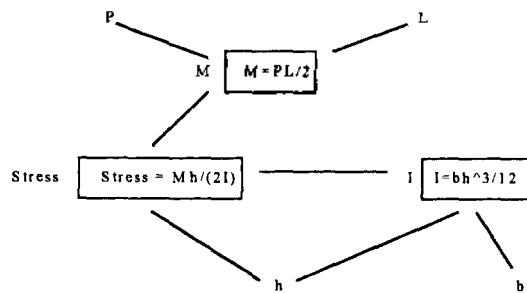


Fig. 2. A Simple Example of Constraint Network

부분의 설계에 사용되는 구속조건 식은 부등식이 포함되어 있고, 이것은 곧 최적화 문제로 귀착되기 때문에 구속조건 네트워크의 실용성을 갖기 위해서는 최적화 모듈과 연계되어야 한다.

◎ 설계원형(Design prototype) vs. 사례기반(Case base)

설계원형은 유사한 설계 사례들로부터 유도된 공통된 요소를 집산화하고 이것을 일반화시킨 클래스들로 구성된다<sup>16)</sup>. 새로운 설계가 시작될 때, 가장 관련이 있는 설계원형을 추출하게 되고, 이것을 기초로 하여 설계가 진행된다. 그런데 이 설계원형은 객체지향(Object-orient) 개념의 클래스(Class)와 동일한 개념에 불과하고, 건축물과 같이 매우 다양한 형태가 존재하는 경우 설계원형의 구축이 매우 어렵게 된다는 단점이 있다. 설계원형과는 상반된 입장을 보이는 것이 사례기반인데 이것은 과거에 설계된 결과를 적절히 데이터베이스화 한 것이다. 새로운 설계가 시작되면, 가장 유사한 사례들을 검색하고 이들을 적절한 방법으로 변형시켜 새로운 설계 해를 얻게 되는데, 이 과정을 적응(Adaptation)이라고 한다. 그러나 이 사례기반추론(Case-based reasoning)에서 가장 큰 어려움은 바로 적절한 적응 방안을 강구하는 것이다. 설계 영역에는 많은 경우 이 적응 방안을 강구하기가 매우 어렵기 때문에, 유전적 알고리즘(Genetic algorithm)으로 대체하려는 연구가 시도되고 있다<sup>17)</sup>. 그런데 유전적 알고리즘을 사용하기 위해서는 적합도(Fitness)를 정의할 수 있어야 하는데, 이것 또한 적절히 정의하기가 용이하지 않은 경우가 많다.

◎ 에이전트(Agent) 기반 설계 시스템

에이전트(Agent)는 최근에 인공지능 분야에서 연구가 활성화되고 있는데, 주로 다수의 모듈(에이전트)들간의 긴밀한 상호작용을 통하여 문제해결능력 또는 지적인 기능을 구현하려는 연구분야로 보아도 큰 오류는 없을 듯하다. DAI(Distributed Artificial Intelligence) 분야에서도 복잡한 문제를 작은 단위들로 분해하고 각각을 담당하는 모듈 즉 에이전트들 간의 상호 협조, 조화 그리고 충돌해결(Conflict resolution)을 통한 문제해결을 시도하고 있다. 일상설계 영역의 Parametric design 문제에서 최적화 기법을 사용하

지 않고도 합리적인 해를 도출할 수 있는 에이전트 기반 시스템 구축 사례를 찾아 볼 수 있다<sup>18)</sup>. 설계과정을 에이전트 개념을 사용하여 정식화하려는 연구가 있는데, 이 에이전트를 SiFA(Single Function Agent)라고 하며, 보트나 스프링 설계에 적용된 예를 찾아 볼 수 있고<sup>19)</sup>, 이동성 에이전트(Mobile agent)를 설계 문제에 적용하려는 연구도 수행되고 있다<sup>17)</sup>. 기계설계 분야에서는 주로 인터넷을 기반으로 하여 상이한 시스템과 하드웨어간의 원활한 통합을 통한 동시공학적 설계시스템 환경을 구축하기 위해 ACL(Agent communication language) 기반의 소프트웨어 에이전트(Software agent)를 사용하고 있다<sup>18)</sup>.

◎ 온토로지(Ontology)

온토로지<sup>19)</sup>는 최근에 지식베이스 시스템 분야에서 크게 주목을 받고 있는 영역이다. 온토로지라는 용어는 철학에서의 존재론을 뜻하는 것인데, 공학에서도 용어만을 차용해서 사용하고 있다. 최근에 연구가 시작된 분야이기 때문에 에이전트와 같이 아직 일반적으로 받아들여질 수 있는 정의는 존재하지 않는다. KSEG(Knowledge Sharing Efforts Group)<sup>20)</sup>에서는 온토로지를 문제영역에서 존재하는 구체적 혹은 추상적 엔티티로 정의하고 있고, 최근에는 보다 좁은 의미로 Ontolingua<sup>20,21)</sup>의 사용시 정의된 엔티티로 규정하고 있다. Ontolingua는 KIF(Knowledge Interchange Format)<sup>22)</sup>을 확장한 언어를 지원하는데, 이 언어로 정의된 온토로지를 순수 KIF과 Loom 등을 포함하여 다양한 지식표현언어(Knowledge representation language)로 변환시킬 수 있다. 따라서, 만일 공통의 온토로지를 사용한다면 서로 다른 지식베이스 시스템 간에 원활하게 지식을 공유할 수 있게 된다. 또한 온토로지는 상이한 시스템을 에이전트화 하여 통합 설계시스템을 구축하고자 할 때 ACL과 함께 원활한 정보교환을 위해서 활용되고 있다.

그 이외에, 설계 및 설계사양에 대한 체계적 기술(Description)을 위해서 시스템 이론(System theory)와 네트워크(Network)모델을 사용하여 온토로지를 구축하고 재설계(Redesign) 범위 안에서 이 온토로지를 엘리베이터 설계에 적용한 연구를 찾아 볼 수 있다<sup>23)</sup>. 설계작업에서 설계하고자 하는 대상체의 거동을 추정하기 위해서는 적절한 모델링과 이를 기초로 한 시뮬레이션이 필수적이다. 그러나 모델링 작업은 매우

복잡하고 고도의 숙련된 지식을 요구하기 때문에, 재사용 가능한 모델 라이브러리(Library)를 구축하고 새로운 모델링 작업시 이 라이브러리를 적절히 변형하여 모델링 작업을 수행하려는 시도가 이루어지고 있다. 보다 일반성이 있고 재사용 가능한 라이브러리를 구축하기 위해서 오토로지 개념을 사용한 연구가 진행되고 있으며, 이것은 모델링의 자동화란 측면에서 큰 의미를 갖는다고 판단된다<sup>26)</sup>.

#### ◎ 진화적 계산(Evolutionary computation) 기법을 활용한 설계 시스템

진화적 계산 모델은 유전적 알고리즘, 유전적 프로그래밍(Genetic programming), 진화적 전략(Evolutionary strategy) 그리고 진화적 프로그래밍(Evolutionary programming) 등을 포함한다. 유전적 알고리즘은 비선형 최적화 기법으로 주로 쓰이고 있으나, 단순히 수치적 최적화 문제 이외에도 개념설계에 적용하거나<sup>26)</sup> 형상에 관련된 기하학적 정보까지 포함한 설계대상체 자체를 직접 다루려는 연구도 활발히 수행되고 있다<sup>26)</sup>. 또한 유전적 프로그래밍을 사용하여 전기회로를 설계한 연구도 찾아볼 수 있다<sup>26)</sup>.

#### 4. 앞으로의 전망 및 맺는 말

본 稿에서는 기계학습(Machine learning)이나 Qualitative reasoning에 관련된 사항은 제외하고 주로 최근에 연구되고 있는 컴퓨터 응용을 전제로한 설계모델이나 방법론을 살펴보았다. 최근에는 멀티에이전트 개념을 설계에 활용하려는 연구가 급격히 증가하고 있는 추세이다. 진화적 계산 기법을 활용하려는 연구도 매우 활발해지고 있는데, 진화적 계산 모델의 가장 큰 장점은 오직 적합도에 대한 정보만 주어진다면 강력한 문제해결 성능을 발휘한다는 것이다. 과거에 인공지능 분야에서 일반적인 문제해결전략을 개발하기 위해 노력을 집중했지만 결국 실용적인 결과를 주지 못했다. 그런데 진화적 계산 모델은 매우 간단한 유전적 연산자만을 사용하여 복잡한 현실 문제를 원할히 해결할 수 있을 정도의 성능을 발휘하고 있다. 이런 독특한 특성 때문에 전술한 설계방법론과 진화적 계산 모델이 결합된 형태를 취하는 연구가 앞으로 많이 수행될 것으로 판단된다.

지금까지 제시된 설계모델이나 인공지능 기법이

자동설계 또는 지능형 설계시스템을 구축하는데 충분한 기틀을 제공할 수 있는 것은 결코 아니다. 그러나 이와 관련된 연구들 통하여 설계에 대한 이해의 폭을 넓힐 수 있고, 설계자에게 도움을 제공할 수 있는 유용한 설계지원시스템(Design support system)을 구축할 수 있다.

솔리드 모델러를 이용한 가시화나 FEM 패키지를 사용한 해석 기법은 일반적으로 널리 활용되고 있으나 그 이외의 설계 영역은 대부분 미지의 것으로 남겨져 있다. 지능형 설계시스템을 구축하기 위해서는 이미지의 영역에 대한 이해가 선행되어야 하며, 이 영역을 규명하기 위해서는 인공지능기법을 포함하여 설계에 관련된 다양한 연구가 활발히 수행되어야 할 것이다.

#### 5. 관련 학회 및 저널

##### ◎ 학회

- 1) Design Research Society  
<http://www.designweb.co.uk/drs.html>
- 2) International Society of Applied Intelligence  
<http://pirates.cs.swt.edu/isai.shtml>

##### ◎ 저널

- 1) Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing  
<http://www2.hmc.edu/~dym/aiedam.html>
- 2) Journal of Mechanical Design  
<http://www-jmd.engr.ucdavis.edu/jmd/>
- 3) Design Studies  
<http://www.elsevier.nl:80/inca/publications/store/3/0/4/0/9/>
- 4) Engineering Design & Automation  
<http://journals.wiley.com/wilcat-bin/ops/ID0175797/1077-2642/prod>
- 5) Artificial Intelligence in Engineering  
<http://www.elsevier.nl:80/inca/publications/store/4/2/2/9/1/7/>
- 6) Engineering Applications of Artificial Intelligence  
<http://www.elsevier.nl:80/inca/publications/store/9/7/5/>
- 7) Journal of Engineering Design

<http://www.carfax.co.uk/jen-ad.htm>  
 8) Research in Engineering Design  
<http://www.cs.cmu.edu/~sfinger/red/red.html>  
 9) Knowledge-Based Systems  
<http://www.elsevier.nl:80/inca/publications/store/5/2/5/4/4/8/>  
 10) International Journal of Applied Intelligence  
<http://www.wkap.nl/journalhome.htm/0924-669X>

### 참고문헌

1. Brown, B.C., Chandrasekaram, B., Expert Systems for a Class of Mechanical Design Activity, Proc. IFIF WG 5.2 Working Conf. On Knowledge-based Engineering in Computer Aided Design, North-Holland, 1985.
2. Zhao, F., and Maher, M.L., Using Network-based Prototypes to Support Creative Design by Mutation and Analogy, in Gero, J.S.(ed), Artificial Intelligence in Design'92, 1992.
3. David G. Ullman, The Mechanical Design Process, McGRAW-HILL, 1991.
4. Sridha Kota and Allen C. Ward, Function, Structure and Constraints in Conceptual Design, ASME, Proc. on Design Theory and Methodology-DTM'90, 1990.
5. 장법선, Analytic Hierarchy Process(AHP) 기법을 이용한 최적 구조 설계, 석사학위논문, 서울대학교 조선해양공학과, 1996.
6. Mistree, F., Smith, W.F., Bras, B., Allen, J.K., and Muster, D., Decision-Based Design : A Contemporary Paradigm for Ship Design, Trans. on Society of Naval Architects and Marine Engineers , Vol. 98, 565-597.
7. Hybs, I., and Gero, J. S., An Evolutionary Process of Design, Design Studies, Vol. 13, No. 3, 273-290, 1992.
8. Ken Brown, Grammatical Design, IEEE, Intelligent Systems & Their Applications. Vol. 12, No. 2, 27-33, 1997.
9. Reddy, G., and Cagan, J., An Improved Shape Annealing Algorithm for Truss Topology Generation, ASME, J. Mechanical Design. Vol. 117, No. 2A, 1995, 315-321.
10. 차주현, Design Constraint를 이용한 기계 설계 지원시스템, 한국전문가시스템학회 추계학술대회논문집, 103-109, 1996.
11. 구도연, 한순홍, 전문가 시스템과 제약처리 알고리즘을 복합화 한 급지구조의 설계, 한국 CAD/CAM 학회 학술발표대회 논문집, 1998.
12. 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.
13. Gero, J. S., Design Prototypes : A Knowledge Representation Schema for Design, AI magazine, Winter, 1990.
14. Mary Lou Maher and Andres Gomez de Silva Garza, Case-Based Reasoning in Design, IEEE, Intelligent Systems & Their Applications, Vol. 12, No. 2, 34-40, 1997.
15. Susan E. Lander, Distributed Search and Conflict Management among Reusable Heterogeneous Agents, PH. D Thesis, University of Massachusetts Amherst, Dept. of Computer Science, 1994.
16. [http://cs.wpi.edu/Research/aidg/SiFA/phil\\_sifa.html](http://cs.wpi.edu/Research/aidg/SiFA/phil_sifa.html)
17. Haruyuki Fujii, Shoichi, Hiroshi Katukura and Keiichi Hirose, A Mobil-agent Oriented Approach to a Distributed Design Support System, in Gero, J. S. (ed), Artificial Intelligence in Design'96, 1996.
18. Susan E.Lander, Issues in Multiagent Design Systems, IEEE, Intelligent Systems & Their Applications, Vol. 12, No. 2, 18-26, 1997.
19. Nicofa Guarino, Understanding, Building and Using Ontologies, Int. J. Human-Computer Studies, Vol. 46, 293-310, 1997.
20. <http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/ontologies/>
21. Gruber, T. R., and Olsen, G. R., The Configuration Design Ontologies and the VT Elevator Domain Theory, Int. J. Human-Computer Studies, Vol. 44, 569-598, 1996.
22. <http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/kif/>
23. van Eldonk, S. J. M., Alverts, L. K., Bakker, R. R., Dikker, F., and Wognum, P. M., Redesign of Technical Systems, Knowledge-Based Systems, Vol. 9, 93-104, 1996.
24. Anita Pos, Pim Borst, Jan Top and Hans Akkermans, Reusability of Simulation Models, Knowledge-Based Systems, Vol. 9, 119-125, 1996.
25. Michael G. Hudson and Ian C. Parmee, The Application of Genetic Algorithms to Conceptual Design, LIWED'95, AI System Support for Conceptual Design, 1995, Charlotte Mason College, Ambleside.

26. Bentley, P. J., and Wakefield, J. P., Generic Representation of Solid-Object Geometry for Genetic Search, *Microcomputers in Civil Engineering*, Vol. 11, No. 3, 1996.
27. John, Koza, Forrest H. Bennett III, David Andre and Martin A. Keane, Automatic Design of both the Topology and Sizing of Analog Electrical Circuits using Genetic Programming, in Gero, J. S.(ed), *Artificial Intelligence in Design'96*, 1996.