

공리적 설계법을 이용한 차량용 고무설비 설계 지원 CAD 시스템 개발

구진모*, 이수홍**

A Development of Simulation Based CAD System for Automotive Rubber Machinery : An Axiomatic Design Approach

Ku, J. M.* and Lee, S. H.**

ABSTRACT

Axiomatic Design Theory is one of the most useful design methodologies which uses Functional Requirements(FRs) and Design Parameters(DPs) to make human designers more creative, to reduce the random search process, to minimize the iterative trial-and-error process, and to determine the best design among those proposed. In this research, we show how to develop a CAD system for an automotive rubber machinery using the axiomatic design approach to illustrate the effectiveness of the theory and we suggest a better way to select FRs and DPs in axiomatic design approach which can help designers to select them more effectively, objectively, and easily.

1. 서 론

종래에는 생산방식에 있어서 소품종 대량생산이 일반적이었으나, 오늘날의 생산방식은 소비자의 다양화 기호와 제품의 생명 주기가 단축됨에 따라 다품종 소량 생산체제로 전환되었다. 이러한 시기에 있어서 제품 기획에서 판매까지 기간의 단축화, 특히 제품 설계 작업의 단축화는 매우 중요한 의미를 갖게 되었다^{1,2)}. 그에 따라 CAD, CAM, CAE, PDM 등을 포함하는 제품 기획, 개발, 설계, 생산 등의 모든 분야를 관리하는데 도움이 될 수 있는 공학용 소프트웨어 시스템의 중요성은 공학 전 분야에 걸쳐 널리 논의되는 주제로 떠오르고 있다. 이러한 공학용 소프트웨어의 개발에는 소프트웨어 엔지니어링뿐만 아니라 공학의 전반적인 내용에 대한 이해가 필요한데, 소프트웨어 엔지니어링의 추상성 및 공학에 대한 이해의 어려움으로 인해 공학용 소프트웨어의 체계적인 개발이 어려웠으며, 개발 과정의 이력에 대한 정리 등이 충분하지 않

았기 때문에 개발 당시뿐만 아니라 추후 발생하는 소프트웨어의 유지보수, 확장 및 주분에 맞춘 개발 등이 쉽지 않았다.

이에 따라 공학적 설계에 있어서 체계적인 방법을 제시하는 이론중의 하나인 공리적 설계(Axiomatic Design) 방법이 시스템이나 부품 설계분야는 물론 소프트웨어의 개발분야에도 도입되기 시작하였다³⁾. 공리적 설계방법은 설계 공리(Design Axiom)를 이용하여 설계의 내용을 기능적 요구조건(Functional Requirements, FRs)과 설계 변수(Design Parameters, DPs)의 매핑과정으로 이해하여, 각 객체가 의도하는 기능들과 객체들의 관계를 빠르고 명확하게 이해할 수 있으며, 또한 제시된 설계와 설계 과정을 평가하는 이성적인 수단을 제공함으로써 설계 단계에서 내안을 고려할 때 설계의 선택이나 의사결정을 명확하게 할 수 있는 설계 방법론이다.

이 논문의 목적은 공학적 소프트웨어의 설계에 있어서 공리적 설계 방법을 이용하여 얻을 수 있는 이점을 보여주며 또한, 공리적 설계 방법의 적용에 있어서의 기능적 요구조건 및 설계 변수 설정 및 매핑과정을 객관적이며 좀 더 쉽게 할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

*연세대학교 기계공학과 대학원

**중신회원, 연세대학교 기계공학부

- 논문투고일: 2002. 03. 22

- 심사완료일: 2003. 04. 18

2. 공리적 설계

2.1 공리적 설계의 개념

공리(Axiom)란 어떠한 논리적 체계를 구성하기 위해 가장 기본이 되는 몇 가지 명제들을 증명 없이 받아들이기로 하고 사용하는 것을 뜻한다. 공리적 설계 방법은 설계에 있어서 일반적인 원리로 소개되어온 방법론으로서 설계 과정을 구속조건의 범위 안에서 목표(FRs)를 만족시키기 위하여 적합한 방법(DPs)을 선택하고 개발하는 것으로 정의된다. 즉, 사용자가 원하는 기능적 요구조건(Functional Requirements, FRs)과 그러한 요구 사항들을 해결할 수 있는 설계 변수(Design Parameter, DPs) 간의 매핑과정을 통해서 제시된 요구 사항들을 만족시키는 해결책을 찾는 과정이다¹⁾.

2.2 공리적 설계의 전개 과정

설계의 문제는 Fig. 1에서와 같이 고객 도메인(Customer Domain), 기능적 도메인(Functional Domain), 물리적 도메인(Physical Domain), 프로세스 도메인(Process Domain)의 4가지의 도메인으로 나누어질 수 있다.

설계의 프로세스는 시스템 레벨에서 시작하여 보다 상세한 레벨들로 진행되는데, 설계 객체들은 각각 기능적, 물리적, 프로세스 도메인의 계층구조로 구성되어 있기 때문에 상위 레벨에서 내려진 결정은 하위 레벨에서의 문제 서술에 영향을 준다. 그러므로 주어진 레벨에서의 설계 객체에는 기능적 요구조건(FRs)의 집합이 존재하며, 이러한 기능적 요구조건들이 요소 상분으로 분해되기 전에 그에 해당하는 설계 변수(DPs)들이 우선적으로 선택되어야 하며, 해당하는 설계 변수들에 의해서 기능적 요구조건이 일단 만족되면 그 기능적 요구조건은 하위 요구조건의 집합들로 분해될 수 있고 이러한 과정은 반복된다. 즉, Fig. 2에서와 같이 설계자들은 설계의 문제를 분해하면서

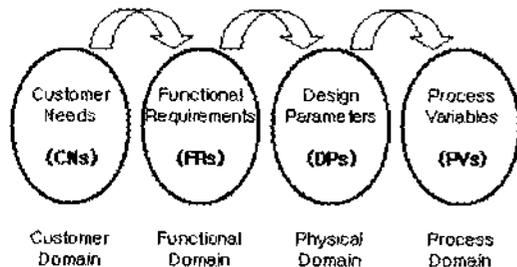


Fig. 1. 설계 문제의 도식화.

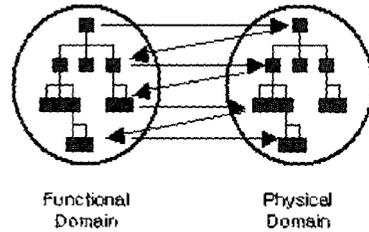


Fig. 2. 도메인에서의 설계 매핑과정.

기능적, 물리적, 프로세스 도메인 사이를 지그재그 형식으로 풀어나가며 설계를 행한다.

설계자는 설계의 과정에 있어서 분해의 공식화, 종합, 분석의 단계를 거치는데 특히 설계의 개념적 단계에 있어서 기능적 요구조건은 독립성이 유지되어야 한다는 독립의 공리(The Independence Axiom)와 설계의 정보량이 최소화되어야 한다는 정보의 공리(The Information Axiom)는 설계를 평가하는 유용한 도구가 된다.

독립의 공리의 적용은 설계 행렬의 형태로 표현되는데 설계 행렬은 주어진 설계 계층구조 레벨에서의 기능적 요구조건과 설계 변수와의 관계를 나타내며 설계 행렬[A]는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 설계 행렬의 요소들은 다음과 같은 식들로서 결정된다.

$$\Delta FR_{\mathcal{F}} = \frac{dFR_{\mathcal{F}}}{dDP_{\mathcal{F}}} \Delta DP_1 + \dots + \frac{dFR_{\mathcal{F}}}{dDP_{\mathcal{F}}} \Delta DP_{\mathcal{F}} \quad (2)$$

$$A_{ij} = \frac{dFR_i}{dDP_j} \quad (3)$$

설계 행렬에는 다음과 같이 세 가지의 가능한 형태가 있는데 식 (4)와 같은 형태는 연성 설계(Coupled Design)이고, 식 (5)는 삼각행렬의 형태로서 비연성 가능 설계(Decoupled Design), 식 (6)은 대각행렬의 형태로서 비연성 설계(Uncoupled Design)이다. 식에서 O와 X는 각각 기능적 요구조건과 설계 변수간의 영향 정도를 나타내는 것으로서 O는 약한 영향을, X는 강한 영향을 준다는 표시이다.

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & O & X \\ X & X & X \\ O & X & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & O & O \\ X & X & O \\ O & X & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & O & O \\ O & X & O \\ O & O & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{pmatrix} \quad (6)$$

여기서 식 (6)과 같은 비연성 설계(Uncoupled Designs)에서는 기능적 요구조건이 설계 변수에 의해서 독립적으로 만족될 수 있고, 식 (5)와 같은 비연성 가능 설계(Decoupled Design)에서는 설계 변수의 직렬한 순서 변화로 기능적 요구조건을 만족시킬 수 있다. 식 (4)와 같은 연성 설계에서는 만족한 결과를 가져올 수 있도록 특별하게 보강된 설계 변수의 순서가 없으므로 반복적인 방법이나 상세한 수학적 모델을 생성하는 방법으로 변화시킨다면 원하는 값의 기능적 요구조건을 구할 수 있다.

3. CAD 시스템 개발에의 적용

3.1 이론의 적용

공학용 소프트웨어 특히, CAD 시스템의 개발에 있어서 가장 중요하며 선행되어야 할 사항은 기존 CAD 시스템의 장단점 파악과 함께 새로운 CAD 시스템의 목적을 파악하여 설계 방향을 결정하는 것이다. 또한, 이번 논문에서 적용 사례로 연구 대상으로 삼은 CAD 시스템은 범용 시스템이 아닌 자동차용 고부설비 설계 지원에 사용할 시스템이기 때문에 주문에 맞춘 개발에 비중을 두어야 할 것이다.

3.2 CAD 시스템 개발에의 공리적 설계의 적용

소프트웨어 엔지니어링의 주요 개념은 소프트웨어의 개발, 사용 및 유지보수 등을 위한 체계적인 절차를 제시하는 것을 골자로 하고 있다¹⁾. 공학 분야의 소프트웨어 개발 과정을 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 분석 과정으로서 사용자의 요구사항, 소프트웨어가 갖춰야 할 기능 등을 수집하고 파악하는 단계이다. 둘째, 설계 과정으로서 분석 과정의 결과에 따른 소프트웨어의 전반적인 계획 및 설계 단계이다. 셋째는 프로그램의 작성 단계이며, 넷째는 프로그램의 에러를 수정하는 디버깅 단계이다. 다섯째 단계는 사후 관리를 위한 유지보수 단계이며, 마지막으로 성능 향상 및 새로운 기능의 추가를 위한 프로그램

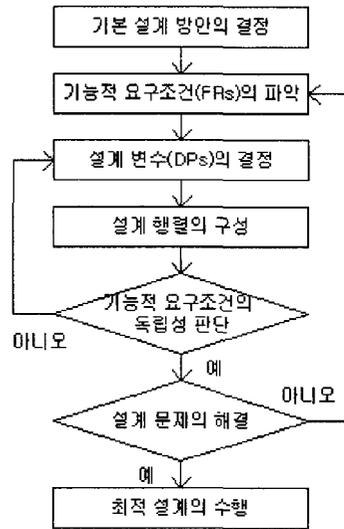


Fig. 3. 설계 적용의 순서도.

확장 단계가 있다¹⁵⁾.

차량용 고부설비 설계 지원용 CAD 시스템을 공리적 설계 방법에 적용하는 과정은 Fig. 3과 같이 순서대로 표현할 수 있으며, 또한 Fig. 1에서의 4가지 도메인의 문제를 소프트웨어의 설계문제에 적용시켜보면 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 고객 요구사항 : 소프트웨어가 구현해야 할 기능
- 기능적 요구조건 : 소프트웨어에 대한 공학적으로 표현된 요구조건
- 설계 변수 : 소프트웨어의 코딩, 프로그래밍
- 프로세스 변수 : 모듈

3.3 기능적 요구조건 및 설계 변수의 선정

앞에서 살펴본 내용을 바탕으로 차량용 고부설비 설계 지원 CAD 시스템 개발에 있어서의 기능적 요구조건 중에서 첫 번째 최상위 요구조건으로는 다음을 선택하였다.

FR_1 : 타이어 설비 설계

이를 만족시키기 위한 설계 변수로서 다음 항목을 선택하였다.

DP_1 : 타이어 설비 설계 지원용 CAD 시스템 설계

현재 다수의 CAD 시스템이 시중에 나와있지만 일반적으로 모든 기계 요소의 설계에 사용할 수 있는 범용 시스템이기 때문에, 타이어 설비 설계와 같은 특정 요소의 설계에 특화된 설계 지원용 CAD 시스템은 찾

아보기 힘든 것이 사실이다. 그렇기 때문에 고객, 즉 타이어 설비 설계 엔지니어가 원하는 시스템의 개발을 첫 번째 기능적 요구조건으로 선정하였고 그에 따라 타이어 설비 설계용 CAD 시스템의 개발을 첫 번째 설계 변수로 선정하였다. 한편, 첫 번째 기능적 요구조건의 하위 조건으로 설계 엔지니어를 위한 편의성 도모 및 설계 효율의 향상을 요구조건으로 선정하였고, 그에 따른 설계 변수로서 각각 편의 기능 지원 및 효율적 설계 기능 지원을 선정하였다.

- FR₁₁ : 설계의 편의성
- FR₁₂ : 설계의 효율성

- DP₁₁ : 설계시 편의 기능 지원
- DP₁₂ : 효율적 설계 기능 지원

설계 편의성의 하위 조건으로는 사용하기 편한 인터페이스 및 편의 기능 구현, 설계 효율성의 하위 조건으로는 설계 데이터의 재사용 및 설계 단계에서의 제품 구현 가능성 파악기능을 선택하였다. 설계 변수는 직관적인 GUI의 이용, 편의 기능의 프로그래밍, 데이터 베이스의 이용, 간섭 및 구속의 판단을 각각 선정하였다.

- FR₁₁₁ : 사용하기 편리한 인터페이스
- FR₁₁₂ : 편의 기능의 지원
- FR₁₂₁ : 설계 데이터의 재사용
- FR₁₂₂ : 설계 단계에서 제품 구현 가능성 파악

- DP₁₁₁ : 직관적인 GUI 구현
- DP₁₁₂ : 편의 기능의 프로그래밍
- DP₁₂₁ : 데이터 베이스의 이용
- DP₁₂₂ : 간섭 및 구속의 판단 기능

한편, 두 번째 최상위 기능적 요구조건 및 설계 변수는 다음과 같이 선정하였다.

- FR₂ : 기존 시스템의 이용
- DP₂ : 기존 CAD 시스템의 개선 및 문제해결

하위 조건 및 설계 변수들을 나열하면 다음과 같다.

- FR₂₁ : 설계 편의성 개선
- DP₂₁ : 편의성 개선 및 편의 기능 구현
- FR₂₁₁ : 사용환경의 개선 및 변경
- FR₂₁₂ : 추가로 요구되는 기능
- DP₂₁₁ : GUI의 개선 및 변경
- DP₂₁₂ : API의 설계

이상의 내용을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. 시스템의 FRs와 DPs의 관계

FRs	내용	DPs	내용
FR ₁₁₁	사용하기 편한 인터페이스	DP ₁₁₁	직관적인 GUI
FR ₁₁₂	편의 기능의 구현	DP ₁₁₂	편의 기능의 프로그래밍
FR ₁₂₁	설계 데이터의 재사용	DP ₁₂₁	DB의 이용
FR ₁₂₂	제품 구현가능성 파악	DP ₁₂₂	간섭 및 구속의 판단 기능
FR ₂₁₁	사용환경의 개선 및 변경	DP ₂₁₁	GUI의 개선 및 변경
FR ₂₁₂	추가 요구기능	DP ₂₁₂	API의 설계

3.4 설계 행렬로의 적용

앞 절에서 파악하고 선정한 기능적 요구조건과 설계변수를 이용하여 설계 행렬을 만들어보고 각각의 연관성 및 독립성을 판단해보면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} FR_{111} \\ FR_{112} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & O \\ X & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_{111} \\ DP_{112} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} FR_{121} \\ FR_{122} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & O \\ O & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_{121} \\ DP_{122} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} FR_{211} \\ FR_{212} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ X & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_{211} \\ DP_{212} \end{pmatrix} \quad (9)$$

식 (7)의 행렬은 시스템의 편의성에 대한 내용으로 비연성 가능 설계(Decoupled Design)이다. 즉, 선정된 어느 하나의 DP의 변경이 다른 FR에 영향을 줄 수 있으나 나머지 DP의 조절로써 그 영향을 최소화시킬 수 있으므로 문제가 되지 않는다. 식 (8)에서 보여지는 시스템의 효율에 대한 내용은 비연성 설계가 되어 설계 향상을 위하여 어느 하나의 DP를 변경하더라도 다른 FR에 영향을 주지 않으므로 DP의 선정이 잘 되었다고 볼 수 있다. 식 (9)는 기존 시스템의 개선에 관한 내용으로 연성 설계가 되어 좋지 않은 설계로 보여진다. 그러나, 사용환경의 개선 및 변경(FR₂₁₁)과 추가로 요구되는 기능(FR₂₁₂)의 항목은 서로 상충되는 관계가 아닌 보완적인 관계이므로 DP₂₁₁, DP₂₁₂의 변경으로 악영향을 미칠 가능성은 거의 없다고 판단되므로 설계가 크게 문제되지는 않다고 볼 수 있다. 그러므로 현재 선정된 FR과 DP는 새로운 시스템을 개발하고 기존의 시스템을 수정 보완하는데 적절하게 선택되었다고 할 수 있다.

4. 실제 CAD 시스템 개발

4.1 시스템의 개요

차량용 고무설비 설계 지원 CAD 시스템은 부품별 상세 설계 및 부품간의 제약조건의 직용으로서 설계 모델의 제약 조건을 포함하는 설계 결과의 시뮬레이션 수행기능을 포함하여야 한다. 또한, 부품의 조립성 평가 및 작동 메커니즘의 개발로서 범용 메커니즘의 모델링 및 라이브러리를 수행하여야 하며, 설비 설계 엔지니어가 사용하기 용이한 도구를 제공해야 한다. 위의 목적을 이루기 위해서 3차원 부품의 모델링에는 3차원 상용 CAD 프로그램인 SolidWorks를 사용했고, 설계 결과의 시뮬레이션 수행은 동역학적 시뮬레이션 프로그램인 Working Model 3D를 사용하였으며, 이들 프로그램이 제공하지 않으나 기능적 요구 조건으로 제시된 사항을 구현하기 위해서 부분에 맞춘 개발의 실시 및 API를 설계하였다.

4.2 시스템의 실제 구현

공리적 접근법에 따라 Table 1에 정리된 설계 목표들 바탕으로 Fig. 4의 시스템 구현 환경에서 구현된 차량용 고무설비 설계 지원 CAD 시스템의 결과는 다음과 같다.

4.2.1 2D Converter

3D CAD 시스템에서 기본적으로 제공되는 3차원 도면을 2차원 도면으로 삼각법 및 치수 입력의 옵션을 지원하며 변환시켜주는 모듈로서 Table 1에서의 DP_{112} , DP_{211} , 및 DP_{212} 를 만족한다.

4.2.2 Gear Wizard

설비 설계시 가장 자주 사용되는 부품중의 하나인 각종 기어를 직관적인 인터페이스를 사용하여 수치

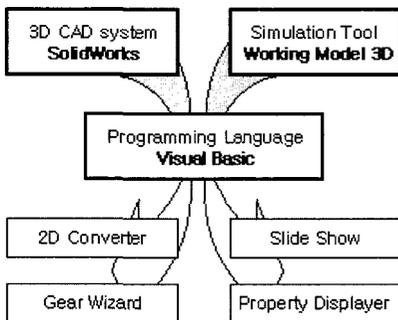


Fig. 4. 시스템의 구현 환경.

입력만으로 모델링 할 수 있는 API 프로그램으로서, 규격기호에 따른 각종 기어의 제원에 대한 데이터 베이스도 제공한다. Table 1에서의 DP_{112} , DP_{211} , 및 DP_{212} 를 만족한다.

4.2.3 Slide Show

설비 설계 시뮬레이션 파일을 찾아서 차례대로 시뮬레이션 시켜주는 프로그램으로서 파일 검색 및 프레젠테이션에 적합하며, Table 1에서의 DP_{112} 및 DP_{212} 를 만족한다.

4.2.4 Property Displayer

설비 설계를 시뮬레이션 시킬 때, 각 부품의 속도, 가속도, 각속도, 각가속도, 힘, 토크 등의 물리적 속성을 실시간 그래프로 표시해줌으로서 메커니즘의 이해를 돕는 프로그램이다. Table 1에서의 DP_{111} , DP_{112} 및 DP_{212} 를 만족한다.

4.2.5 재사용성

설비 설계시 자주 사용하는 기본적 부품 및 메커니즘의 라이브러리를 구축하여 사용 및 재사용의 편의를 도모함으로써, Table 1에서의 DP_{112} 및 DP_{211} 를 만족한다.

4.2.6 기하학적 구속 검색기술

설비 시뮬레이션시 과도한 부하가 걸리거나, 구속 조건 간의 문제점을 검출하여 표시하는 기능으로서, 제품 설계시 설계의 적합성 판단을 가능하게 한다. Table 1의 DP_{112} 및 DP_{223} 를 만족시킨다.

5. 결 론

본 논문에서는 제품 설계자가 제품을 보다 용이하게 설계, 수정 및 변경을 하고 설계의 적합성까지 판단할 수 있는 통합적인 CAD 시스템의 필요성이 부각됨에 따라, 공학적 설계의 여러 방법론 중에서 공리적 접근법을 사용하여 CAD 시스템을 구현하였다. 우선 공리적 접근법에 따라서 CAD 시스템의 기능적 요구 조건(FRs)을 파악하고 그를 만족시킬 수 있는 설계 변수(DPs)를 선정하여 시스템 구현의 목적과 해결책을 논리적으로 나열함으로써 기존의 시행착오에 의한 설계보다 명확한 설계가 가능하였다. 또한, 선정된 FR과 DP를 설계 행렬을 이용하여 독립성 및 연관성을 판단해 본 결과, 새로운 시스템을 개발하고 기존의 시스템을 수정 보완하는데 적절하게 선택되었음이 밝혀

졌다. 그리하여, 공리적 설계 방법에서 도출된 설계 방향에 따라 각종 모듈 및 API를 제작함으로써 체계적으로 보다 향상된 기능의 설비 설계 지원 CAD 시스템을 구현할 수 있었다. 또한, 공리적 설계의 방법에 설계 의도(Design Rationale) 파악의 이론 등이 뒷받침된다면 FR, DP를 보다 효과적이며, 객관적으로, 또한 용이하게 선정할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Karl T. Ulrich and Steven D. Eppinger, "Product Design and Development," McGraw Hill, 1995.
2. George E. Dieter, "Engineering Design : A Materials and Processing Approach," 3rd ed., McGraw Hill, 2000.
3. Kim, S. J., Suh, N. P. and Kim, S. K., "Design of Software Systems Based on Axiomatic Design," *Annals of the CIRP*, Vol. 40, No. 1, pp. 165-170, 1991.
4. Suh, N. P., "The Principles of Design," Oxford University Press, 1990.
5. Pressman, R. S., "Software Engineering, A Practitioner's Approach," 4th ed., New York : McGraw Hill, 1997.
6. Hintersteiner, J. D. and Nain, A., "Integrating Software into Systems : An Axiomatic Design Approach." *MIT Axiomatic Design Group, Publications*, <http://axiom.mit.edu/Publications>.
7. 강춘식, 한순홍, "구성설계 방법을 이용한 차량용 오디오의 파라메트릭 설계," 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제2권, 제4호, pp. 276-285, 1997.

8. 이강수, 이진우, "설계 정보를 수용하는 새로운 CAD시스템의 프레임워크," 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제4권, 제4호, pp. 327-338, 1999.



구진모

1992~1996년 연세대학교 기계공학과
 1999~2001년 연세대학교 기계공학과
 Intelligent Micro Design Lab.
 (CAD/CAM Lab.)
 2001~현재 BERU AG, TEZ 2
 (Entwicklung Zuendspulen) 근무
 관심분야: 지능형 캐드, 공리적 설계



이수홍

1981년 서울대학교 기계공학과 학사
 1983년 서울대학교 기계설계학과 석사
 1991년 Stanford대학 Design Division
 Concurrent Engineering 전공,
 박사
 1991~1992년 Lockheed Missile and
 Space Co. Cable Harness Design
 System개발 Post-Doc.
 1983~1994년 KIMM CAD/CAM실, 선임 연구원
 1994~현재 연세대학교 기계공학과 정교수
 관심분야: 동시공학설계, 지식기반시스템
 설계, DFM