2단계
최종보고서

차량용 고무설비 상세 설계 지원 CAD 시스템 개발

A development of simulation based CAD system for automotive rubber machinery

연구기관 : 연세대학교

과 학 기 술 부

제 출 문

과 학 기 술 부 장 관 귀하

본 보고서를 "차량용 고무설비 상세지원 CAD 시스템 개발" 과제의 2단계 최종보고서로 제출합니다.

2000. 8.

주관연구기관명 : 연세대학교
총괄연구책임자 : 이수홍 (연세대학교)
연 구 원 : 구진모 (연세대학교)
구본석 (연세대학교)
한진택 (연세대학교)

요 약 문

Ⅰ. 제 목

차량용 고무설비 상세 설계 지원 CAD 시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

본 과제는 국책연구개발사업인 엔지니어링 핵심공통기반 기술개발사업의 세부과제로서 설비 설계 엔지니어가 사용하기 용이한 차량용 고무설비 상세 설계 지원 CAD 시스템의 개발에 그 목적을 두고 있다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 과제는 설계 사양, 조립 체계 및 생산 기계 간의 기하학적 구속 검색 기술의 개발, 전문가 시스템으로서 단위 기계 상세 설계 지원 시스템의 개발, 설비 설계 엔지니어가 사용하기 용이한 타이어 설비 설계용 툴의 개발, 리소스 낭비 방지 및 시행 착오 감소를 위한 재 사용성 증대 기술의 개발을 주요 내용 및 범위로 한다.

Ⅳ. 연구개발결과

본 과제의 연구개발 목적을 정확하게 파악하고 진행하기 위한 공리적 설계접근법에 의한 분석 연구와 차량용 고무설비 상세 설계 지원 CAD 시스템에 사용될 수 있는 소프트웨어를 제작, 등록하였다.

S U M M A R Y

Ⅰ. Title

A development of simulation based CAD system for automotive rubber machinery

Ⅱ. Objectives and Significance

The object of the present assignment is the development of a simulation based CAD system for automotive rubber machinery that may be easily used by engineers.

Ⅲ. Contents and Scope

The main contents and scope of the present assignment are development of design specifications, assembling systems and technology for checking geometric interference, the development of a unit simulation based system, as an expert system, the development of tools for designing tire-related machinery that may be easily used by machinery-design engineers, and the development of technology that increases reusability for reducing trial and error methods and preventing resource waste.

Ⅳ. Results

A simulation based CAD system for automotive rubber machinery has been developed and registered after an axiomatic design approach and analysis for the system development.

CONTENTS

CHAPTER 1 Introduction ---------- 7

Section 1 Background and Object of Research ---------- 7
Section 2 Development status of Research ---------- 8
Section 3 Development of CAD system ---------- 9

CHAPTER 2 A Development of Simulation Based CAD System for Automotive Rubber Machinery ---------- 20
Section 1 Structure of the CAD system ---------- 20
Section 2 Function of the CAD system ---------- 22

CHAPTER 3 Conclusion and Future work ---------- 35

REFERENCES ---------- 37

목 차

제 1장 서 론 ---------- 7

제 1 절 연구의 배경 및 목적 ---------- 7

제 2 절 국내외 기술개발 현황 ---------- 8

제 3 절 CAD system 개발 ---------- 9

제 2 장 차량용 고무설비 상세 설계 지원 CAD system 개발 -- 20

제 1 절 CAD 시스템의 구성---------- 20

제 2 절 CAD 시스템의 기능---------- 22

제 3 장 결론 및 향후 제언 ---------- 35

참고문헌 ---------- 37

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

설계가 단순한 사람의 수작업에서 벗어나 CAD의 영역으로 이동하면서 수작업이 편하다고 느끼게 되는 경우가 종종 있다. 이러한 문제는 새로운 패러다임에로의 이행에 따라 자연스럽게 일어날 수 있는 일이지만 그렇다고 그냥 수수방관만 할 수 있는 부분은 아니다. 일반적으로 대부분의 연구가 그러하듯이 설계의 최종 목표는 사람의 수작업을 최소화하고 생산에 있어서 인간의 지능적인 부분과 단순한 작업을 컴퓨터에게 넘겨주는 것에 있다. 본 연구도 그러한 생각의 연장선상에 있다 할 수 있다.

이전에는 이러한 생각들이 단순히 개념설계차원에 국한되어 있었지만 주변 연구 환경과 시설들이 개선되면서 많은 부분에 있어 컴퓨터의 의존도가 상대적으로 증가하고 있다. 인간의 지능에 의존하거나 인간의 단순한 작업에 의존하고 있는 상당부분 중 번거롭고 복잡한 부분은 컴퓨터가 대신하고 있다.

부분에 있어서 무인화의 노력이 진행되어 왔고 일부에서는 그러한 시도가 성공한 것도 있었다. 본 연구도 궁극적으로는 무인화, 자동화, 지능화로 가는 교량적인 역할에 기여하고자 한다. 즉, 자동화 지능화를 위해서는 변수 설계, 상세 설계 기능이 필요하고 이러한 기술의 운용을 위해서는 체계적인 데이터베이스와 제어기술, 통신기술, 검색기술 들이 필요하게 된다. 본 연구는 이러한 필요들을 만족하고 있으며 시기적으로도 적절한 개발시기이므로 연구의 공학적 의미는 아주 크다고 할 수 있다.

제 2 절 국내외 기술개발 현황

본 연구는 고무설비라고 한정된 만큼 본 과제와 관련한 구체적인 연구가 진행된 것은 상대적으로 많지 않다. 또한 본 과제에서 추구하는 분야는 보다 세부적이며 구체적인 부분이고 연구에 있어서는 개발의 여지를 많이 갖고 있는 영역이다. 본 과제에 관련된 기존의 연구들은 기능성도 사용자를 충분히 만족시키지 못하였으며 특정 분야로의 커스터마이징(Customizing)에도 많은 어려움이 있었던 것이 사실이다. 본 연구와 관련해서 몇 몇의 툴들이 개발되기도 하였지만 명확한 표준이 제시되어 있는 것도 아니므로 많은 사용자를 확보하고 있는 표준화된 기술도 명확하지 않았다. 요컨대 본 연구는 이러한 난립된 도구의 통합화를 시도하고 그 연장선 상에서 표준화된 기술도 명시하며 사용자 편의의 커스터마이징에도 주력하고자 하였다.

본 연구와 관련한 본 실험실의 연구 실적으로는 '고무 공정설계용 제품 모델 지식기반 구축기술 개발' 과제를 한국기계연구원과 더불어 수행하였으며 이 과제를 통하여 이질 시스템 간의 통신을 위한 기술개발이 있었고 부분적인 부품정보의 데이터베이스화와 구동기술이 마련되었다. 본 연구와 무관하지 않은 고무 공장에 관한 기술도 습득하였으며 지능형 고무공장설비 배치와 관련한 여러 가지 모듈들이 개발되었다. 이와 관련한 본 실험실의 논문으로는 김경영[4]의 '조립검사를 지원하는 특징형상 모델러 개발 (A Development of a Feature-Based Modeler for Assembly Simulation)', 김재중[5]의 '지능형 제품설계 시스템의 Framework개발과 지식추가에 관한 연구 (A Study on Development of Framework for Intelligent Product Design System and Knowledge Addition)' 및 구진모[14]의 '공리적 설계 접근법을 이용한 차량용 고무설비 상세 설계지원 CAD 시스템 개발 (A Development of Simulation Based CAD System for Automotive Rubber Machinery : An Axiomatic Design Approach)' 등이 있다.

제 3 절 CAD 시스템 개발

3.1 서 론

종래에는 생산방식에 있어서 소품종 대량생산이 일반적이었으나 오늘날의 생산방식은 소비자의 다양한 기호와 제품의 life cycle이 단축됨에 따라 다품종 소량 생산체제로 전환되었다. 이러한 시기에 있어서 제품 설계작업의 단축화는 매우 중요한 의미를 갖게 되었다. CAD (Computer Aided Design) 시스템은 컴퓨터를 이용한 설계 시스템을 의미하며 CAM (Computer Aided Manufacturing), CAE (Computer Aided Engineering) 등과 유기적으로 결합하여 설계 기간의 단축, 생산성 향상 및 원가 절감, 납기의 단축, 품질 향상, 신뢰성 향상, 표준화 촉진, 경쟁력 강화 등의 이점을 제공하여 제품개발의 전 공정의 자동화를 꾀하고 있는 산업상 비중이 큰 소프트웨어이다.

이러한 CAD 시스템의 유용성을 감안한다면 설비 설계 엔지니어가 사용하기 용이한 설계용 툴을 개발할 수 있는데, 본 논문의 목적은 차량용 고무설비, 즉 타이어의 상세 설계지원 CAD 시스템의 개발에 대해서 알아보고 일반적인 공리적 설계에 대해 알아본 후에 CAD 시스템의 개발을 공리적 설계 접근법을 이용하여 구체화하고 수행하는데 있다.

3.2 타이어 설비 설계 지원 CAD 시스템

CAD (Computer Aided Design) 시스템은 신속한 대화응답과 그래픽 표시를 특징으로 하는 컴퓨터를 이용한 설계 시스템을 의미한다. 일반적으로 CAD 시스템은 대화식 그래픽 입력과 디스플레이를 다루기 위해서 연산장치와 키보드, 디지타이저, 마우스 등의 입력장치, 그리고 모니터, 프린터, 플로터 등의 출력장치 등의 하드웨어적 특징을 갖고 있으며 중앙의 데이터베이스의 광범위한 기능과 모듈을 사용자에게 제공하는 사용자 인터페이스와 소프트웨어의 통합 기능 등의 소프트웨어적 특징을 가진다.

CAD 시스템은 속도가 느린 전용 시스템으로부터 속도가 빠른 표준 시스템

으로 꾸준히 발전되어 왔다. 1970년대와 1980년대 초까지는 대부분의 CAD 시스템은 16비트 미니 컴퓨터에 기반을 두었고 자신의 하드웨어를 설계, 제조하여 자신의 소프트웨어를 실행시키는 이른바 일괄 공급 시스템 (turnkey system) 공급자가 주류를 이루었다. 그 결과, 이러한 시스템은 사용자가 시스템마다의 각기 다른 비표준 운영체계를 다루게 되어 타 시스템과의 호환이 되지 않는 등의 시스템의 고립을 초래하였다. 또한, 다른 시스템과의 인터페이스 및 네트웍이 적절하지 못한 불편을 겪으면서 공급자들은 차츰 표준 하드웨어의 중요성을 예측하여 그들 시스템의 구조와 구성을 표준 하드웨어에 맞도록 변경하였고, 지속적으로 발전하는 성능 향상과 다양성 증대의 요구에 부응하기 위해 CAD 시스템에는 유한 요소 해석이나 솔리드 모델링에 필요한 정확성을 제공하고 계산 강도를 지원하기 위해 32비트 미니 컴퓨터가 사용되었다. 이들 시스템은 일반적으로 일괄 공급 시스템과 같은 패키지가 아니며, 사용자의 필요를 충족하기 위하여 CAD 시스템 공급자가 자신의 하드웨어를 설계, 제조하지 않고 최적의 하드웨어 및 소프트웨어 구성을 사용자가 선택할 수 있도록 유연성을 제공하는데 이러한 CAD 시스템을 개방형 시스템 (open system)이라고 한다. 따라서 사용자는 CAD 시스템과 다른 컴퓨터 시스템을 네트웍으로 연결할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 이 시스템을 다양한 제조 단계나 시설에 고정배선 할 수 있게 되었다. 이러한 개념으로 인해 단독 사용자의 환경과 시분할 환경이라는 개념을 낳았으며 이로 인해 제조 비용과 시간을 줄이는 결과를 가져왔다. 이로 인해 계산과 그래픽 처리에 집중되는 알고리즘을 칩 속에 내장시킨 펌웨어를 개발함으로써, 전통적인 소프트웨어를 발전시키지 않고도 알고리즘의 실행속도를 증가시킬 수 있게 되었다.

지난 수년 동안 마이크로 컴퓨터 기반의 CAD 시스템은 현저히 발전되어 왔다. 기억장치의 크기, 처리 속도, 기억장치로의 접근 속도 등과 같은 종래의 문제점은 사라지고 있는 것이다. 마찬가지로, 주변 기억장치도 고속의 고용량 하드디스크의 개발로 그 성능이 향상되었다. 사용자 대화 기법 역시 급속히 발전하고 있다. 마이크로 컴퓨터나 워크스테이션 개념에 기반을 둔 CAD 시스템은 분산(독립)적이며 네트웍 환경에 기반을 두는 하드웨어의 기술적 경향을 대표하고 있다. 네트웍 환경에는 워크스테이션도 서로 연결 될 수 있으며, 수치 계산 전용인 메인 프레임과도 접속될 수 있다. 또한, 파일서버와 같은 다른 유형의 하드웨어를 제어하기 위한 다른 종류의 처리기들도 네트웍 내에 존재

한국과학기술원 국회도서관장서

할 수 있다. 이러한 분산형 시스템은 워크스테이션 상에서 국소적으로 중요한 그래픽 기능을 수행할 수 있을 뿐만 아니라 보다 강력한 연산 능력을 위하여 메인 프레임을 이용할 수도 있다. 이러한 분산형 시스템 (distributed system), 제조 환경 내의 각 장치간 정보 교환도 시스템의 구성과 설계의 중요한 부분이 되고 있다.

이러한 CAD 시스템의 특징을 이용하여 타이어 설비 설계 지원용 CAD 시스템을 개발한다면 다음과 같은 목표를 두어야 한다. 첫째, 부품별 상세 설계 및 부품간의 제약조건의 적용으로서 상세 설계 모델의 제약 조건을 포함하는 시뮬레이션의 수행 기능을 포함해야 한다. 둘째, 부품의 조립성 평가 및 작동 메커니즘의 개발로서 범용 메커니즘의 모델링 및 라이브러리화를 수행해야 한다. 셋째, 설비 설계의 고유화를 위한 인터페이스 규약을 개발하여 사용자 환경을 고려한 규약을 도출하고 스펙을 도입해야한다. 마지막으로, 설비 설계 엔지니어가 사용하기 용이한 타이어 설비 설계용 툴을 개발하여야 하는데 여기에는 사용의 용이성 제공뿐만 아니라 설비 설계 및 결과 시뮬레이션 툴의 제공 및 각 툴들 간의 인테그레이션이 이루어져야 한다. 위에서 언급한 목표를 달성하여 CAD 시스템을 개발한다면 툴들의 인테그레이션에 의한 시뮬레이션을 통한 가상 모의 테스트 후 즉시 도면 추출이 가능한 차량용 고무제품 생산 설비 설계용 툴을 만들어 낼 수 있고 이를 기반으로 여타 생산 설비 설계 환경에도 적용할 수 있는 CAD 시스템을 개발할 수 있다.

3.3 공리적 설계

공리란 어떠한 논리적 체계를 구성하기 위해 가장 기본이 되는 몇 가지 명제들을 증명 없이 받아들이기로 하고 사용하는 것을 말하므로 공리적 설계 (Axiomatic Design)는 모든 형태의 설계 문제와 모든 세부적 설계 단계에서 잘 적용되는 설계 오브젝트 (design object)를 설명하는 프레임웍 (framework)을 제공할 수 있다. 그러한 이점 때문에 설계 공리(design axiom)를 이용하면 각각의 설계자들은 각 오브젝트들이 의도하는 기능들과 오브젝트들이 만들어진 방법간의 관계를 빠르게 이해할 수 있고, 또한 제시된 설계와 설계 프로세스의 질을 평가하는 이성적인 수단을 제공함으로써 모

는 세부적 설계 단계에서의 대안을 고려하거나 그러한 대안들 간의 선택을 보다 명쾌하게 할 수 있다. 이러한 공리적 설계의 방법은 그림 1과 같이 도식화해서 나타낼 수 있다.

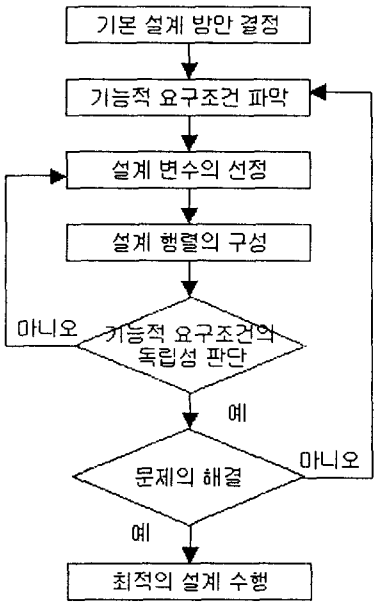


그림 1-1. 공리적 설계의 방법

공리적 설계 (Axiomatic Design)는 모든 형태의 설계 문제와 모든 세부적 설계 단계에서 잘 적용되는 설계 오브젝트 (design object)를 서술하는 프레임웍 (framework)을 제공한다. 그렇기 때문에 각각의 설계자들은 각 오브젝트들이 의도하는 기능들과 오브젝트들이 만들어진 방법간의 관계를 빠르게 이해할 수 있다. 그 외에도 설계 공리 (design axiom)는 설계자들이 모든 세부적 설계 단계에서의 대안을 고려하거나 그러한 대안들 간의 선택을 보다 명쾌하게 할 수 있도록 제시된 설계와 설계 프로세스의 질을 평가하는 이성적인 수단을 제공한다.

3.3.1 Domains

설계 (design)는 구속조건 (constraint)의 범위 안에서 목표 (FRs : Functional Requirements, 기능적 요구조건)를 만족시키기 위하여 방법 (DPs : Design Parameter, 설계 변수)을 선택하고 개발하는 것으로 정의된다. 설계의 문제는 4개의 도메인으로 나누어질 수 있다. 도메인의 개수는 4로 일정하지만, 각 도메인의 설계 요소들의 성질은 문제의 분야에 따라서 변화한다. 4개의 도메인은 그림 1과 같이 일반적으로 각각 고객 도메인 (customer domain), 기능적 도메인 (functional domain), 물리적 도메인 (physical domain), 프로세스 도메인 (process domain)으로 나누어진다.

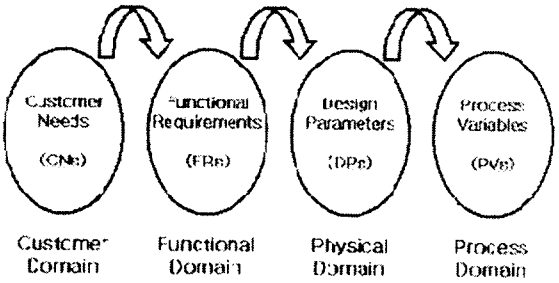


그림 1-2 설계 문제의 도식화

3.3.2 Hierarchies

설계의 프로세스는 시스템 레벨에서 보다 상세한 레벨들로 진행되는데 이것은 설계 계층 구조 (design hierarchy)라고 표현될 수 있다. 또한 설계 오브젝트는 각각 기능적, 물리적, 프로세스 도메인의 계층 구조들로 구성되어 있어서 상위 레벨에서 내려진 결정 (decision)은 하위 레벨에서의 문제 서술에 영향을 준다.

주어진 레벨에서의 설계 오브젝트에는 기능적 요구조건 (FRs)의 집합이 존재한다. 이러한 기능적 요구조건들이 요소성분으로 분해(decompose)되기 전에 그에 해당하는 설계 변수 (DPs)들이 우선적으로 선택되어야 한다. 해당하는 설계 변수들에 의해서 기능적 요구조건이 일단 만족되면 그 기능적 요구조건은 하위 요구조건의 집합들로 분해될 수 있고 이러한 과정은 반복된다. 즉, 그림 3과 같이 설계자들은 설계의 문제를 분해하면서 기능적, 물리적, 프로세스 도메인 사이를 지그재그 형식으로 풀어간다.

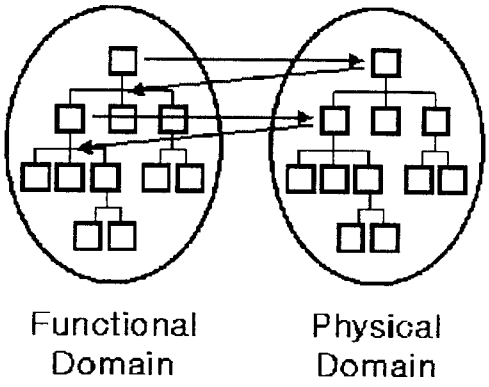


그림 1-3 새로운 설계의 종합

3.3.3 Design Axioms

위에서 언급한 바와 마찬가지로 설계자들은 설계 오브젝트가 상위 레벨에서 시작해서 상세한 정도가 증가하는 하위 레벨로 결정을 지어지는 설계 프로세스를 따른다. 각 상세 레벨에서의 새로운 설계를 종합하는 과정을 따르면서, 설계자는 문제의 공식화 (formulation), 종합 (synthesis), 분석 (analysis)의 단계로 서술 될 수 있는 단계들을 거쳐나간다. 이러한 단계에 있어서 설계 공리들 (design axioms)은, 특히 개념적 설계 단계에서, 설계를 평가하는 툴을 제공한다. 설계 공리는 다음과 같이 두 가지로 표현될 수 있다.

1. 독립의 공리 (The Independence Axiom : First Axiom) : 기능적 요구조건 (FRs)의 독립성 유지
2. 정보의 공리 (The Information Axiom : Second Axiom) : 설계의 정보량 (information content) 의 최소화

일단 기능적 요구조건의 집합이 공식화되고 가능한 설계 변수들이 합성되면 위의 두 가지 설계 공리들이 제시된 설계를 평가하기 위해서 적용이 된다. 독립의 공리의 적용은 설계 행렬 (design matrix)의 형태로 표현된다.

설계 행렬 (DM : design matrix)은 주어진 설계 계층구조 레벨에서의 FR과 DP의 관계를 나타낸다. 설계 행렬 [A]는 다음과 같이 표현될 수 있다.

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

설계 행렬의 요소들은 다음과 같은 식들로서 결정된다.

$$\triangle FR_1 = \frac{dFR_1}{dDP_1} \triangle DP_1 + \ldots + \frac{dFR_1}{dDP_n} \triangle DP_n$$

$$\ldots$$

$$\triangle FR_n = \frac{dFR_n}{dDP_1} \triangle DP_1 + \ldots + \frac{dFR_n}{dDP_n} \triangle DP_n$$

$$A_{ij} = \frac{dFR_i}{dDP_j}$$

설계 행렬은 다음 그림과 같이 대각 위 아래쪽으로 연관된 행렬 (a), 삼각 행렬 (triangular matrix) (b), 대각 행렬 (diagonal matrix) (c)의 세 가지의 가능한 형태가 있다. 여기서 X는 DP가 FR에 강한 영향을 준다는 표시이고, 반면에 O는 약한 영향을 준다는 표시이다.

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

(a) coupled design

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

(b) decoupled design

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

(c) uncoupled design

삼각 행렬 (b)은 디커플된 설계 (decoupled design)라고 말하고 대각 행렬 (c)는 언커플된 설계 (uncoupled design)이라고 말한다. 한편 (a)와 같은 다른 모든 행렬들은 커플된 설계 (coupled design)이라고 한다.

3.3.4 DP값의 조절에 있어서 독립의 중요성

언커플된 설계에서 FR들은 해당하는 DP들에 의해서 독립적으로 만족될 수 있고, 디커플된 설계에서는 DP가 적절한 순서로 변화되면 FR이 만족될 수 있다. 커플된 설계에서는 만족한 결과를 가져올 수 있도록 특별하게 보장된 DP의 순서가 없다. 하지만 커플된 설계에서도 DP를 반복적인 방법이나 충분히 상세한 수학적 모델을 생성하는 방법으로 변화시킨다면 원하는 값의 FR들을 구할 수 있다.

설계 행렬의 해석은 다음과 같이 이루어진다. $\frac{\partial FR_i}{\partial DP_j}$로 주어지는 설계 행렬 A_{ij}의 한 요소에 대하여 'FR_j를 수행하기 위한 DP_j의 변화가 FR_i에 영향을 주는가?' 와 같은 질문을 적용해 본다. 설계의 성질에 의해서 DP_i는 FR_i를 수행하기 위해서 선택되어졌기 때문에 FR_i가 변하지 않았다면 DP_i는 DP_j의 변화가 FR_i에 준 영향을 상쇄시키기 위해서 변화되어져야만 한다. 즉 'DP_j의 선택이 DP_i의 선택에 영향을 주는가?' 라는 질문과 같다.

3.4 CAD 시스템 개발에 공리적 설계의 적용

3.4.1 FR의 파악과 DP의 결정

CAD 시스템 개발에 있어서 가장 중요하고 선행되어야 할 사항은 기존 CAD 시스템의 장단점의 파악과 함께 새로운 CAD 시스템의 설계 방향을 설정하는 것이다. 또한 이번에 개발하는 CAD 시스템은 범용 시스템이 아닌 자동차용 고무설비에 사용할 시스템이기 때문에 customizing에 비중을 두어야 할 것이다.

공리적 접근법을 적용하려면 우선 customer (본 논문에서는 자동차용 타이어 설비 설계 엔지니어)가 원하는 기능적 요구조건 (FRs)을 파악하고 그에 따

른 설계 변수 (DPs)를 결정해야한다.

3.4.2 FR의 선택과 그에 따른 DP의 결정

공리적 설계를 이용하기 위해서 다음과 같이 customer의 요구에 따라서 FR을 선택하고 그를 만족시킬 수 있는 DP를 결정하였다. 또한 위에서 선택된 FR을 만족시킬 수 있는 하위 FR을 선택하고 그에 따른 하위 DP도 결정하였다. 첫 번째 최상위 요구조건으로는 다음을 선택하였다.

FR_1 : 타이어 설계 지원 CAD 시스템 개발

이를 만족시키기 위한 DP로서 다음 항목을 결정하였다.

DP_1 : 타이어 설계 지원용 CAD 시스템의 설계

현재 다수의 CAD 시스템이 시중에 나와 있지만 대부분 모든 기계 요소의 설계에 사용할 수 있는 범용 시스템이 대부분이고, 타이어 설계와 같은 특정 요소의 설계 지원용 CAD 시스템과 같은 고객이 원하는 특정 기능을 지원하는 시스템은 거의 없는 것이 현실이다. 그렇기 때문에 고객이 원하는 즉, 타이어 설비 설계 엔지니어들이 원하는 CAD 시스템의 개발을 첫 번째 기능적 요구조건으로 선택했고 그에 따라 CAD 시스템의 설계를 첫 번째 설계 변수로 결정하였다. 한편 타이어 설비 설계용 CAD 시스템에 요구되는 하위 기능적 요구조건으로 설비 설계 엔지니어가 기존의 CAD 시스템에서는 세부적으로 지원하지 못했던 기능들을 추가 지원하기 위하여 '설계 엔지니어의 편의성 도모'와 '설계 효율의 향상'을 선택하였고 그에 따른 설계 변수로는 '설계 엔지니어의 요구조건 파악'과 '효율적 설계 기능 지원'으로 결정하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

FR_{11} : 설계시 설계 엔지니어의 편의성 도모
FR_{12} : 설계 효율의 향상

DP_{11} : 설계 엔지니어의 요구조건 파악
DP_{12} : 효율적 설계 기능 지원

편의성 도모의 요구 조건에 대해서는 '설계 엔지니어 지향의 interface 구현', '설계 엔지니어의 요구기능 구현'과 같은 하위 요구 조건을 선택하였고, 효율의 향상 면에서는 제품이 완전히 개발되기 전에 설계 단계에서 미리 상품 가능성에 대해서 파악하기 위하여 '설계 단계에서의 제품 구현 가능성 파악', '기존 자료의 재사용'의 하위 조건을 선택하였다. 그에 따르는 설계 변수들은 다음과 같이 정리하였다.

FR_{111} : 설계 엔지니어 지향의 interface 구현
FR_{112} : 설계 엔지니어의 요구기능 구현
FR_{121} : 설계 단계에서 제품구현 가능성 파악
FR_{122} : 기존 자료 (data)의 재사용

DP_{111} : GUI (Graphic User Interface)의 이용
DP_{112} : 요구 기능의 프로그래밍
DP_{121} : 구속조건의 분석
DP_{122} : Data Base의 이용

한편 두 번째 최상위 기능적 요구조건으로는 FR_2(기존의 CAD 시스템 개선)을 선택하였고 그에 따라 DP_2(기존 시스템의 문제 해결)을 결정했다. 그에 따르는 하위 요구조건과 설계 변수는 다음과 같이 선택하였다.

FR_{21} : 설계의 편의성 개선
DP_{21} : 편의성 개선점 파악 및 구현

편의성 개선에 대한 하위 요구조건과 그에 따르는 설계 변수는 다음과 같다.

FR_{211} : 설계 엔지니어 지향의 Interface 추가 및 변경
FR_{212} : 설계 엔지니어의 요구 기능 추가

DP_{211} : GUI 수정

DP_{212} : API (Application Program Interface) 설계

3.4.3 설계 행렬 (Design Matrix)로의 적용

공리적 설계 부분에서 보았듯이 지금까지 파악하고 결정한 FRs와 DPs를 이용해서 설계 행렬을 만들고 파악하면서 각 FR과 DP의 연관성을 알아보고 독립성을 판단해본다. 우선 앞에서 결정한 CAD 시스템을 개발하는데 있어서 파악한 FR과 DP를 이용해서 설계 행렬을 만들어 본다.

$$\begin{pmatrix} FR_{111} \\ FR_{112} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ X & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_{111} \\ DP_{112} \end{pmatrix}$$

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

$$\begin{pmatrix} FR_{211} \\ FR_{212} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ O & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_{211} \\ DP_{212} \end{pmatrix}$$

첫 번째 행렬은 설계자의 편의성 도모에 대한 내용으로서 coupled design이므로 좋지 않은 설계로 판단된다. 그러나 FR_{111}인 설계자 지향의 interface 구현과 FR_{112}인 설계자의 요구기능 구현은 서로 배치되는 문제가 아니라 서로 상호 보완적인 관계이므로 DP_{111}, DP_{112}의 변경으로 인해 악영향을 미칠 가능성은 거의 없다고 판단되므로 문제되지 않는다고 볼 수 있다.

두 번째 행렬은 설계 효율에 대한 내용으로서 uncoupled design이므로 설계 향상을 위한 어떤 한 DP의 변경이 다른 FR에 영향을 주지 않으므로 DP의 선정이 잘 되었다고 볼 수 있다.

세 번째 행렬은 편의성 개선에 대한 내용으로서 decoupled design이다. 즉 선정된 DP의 변경이 다른 FR에 영향을 줄 수 있으나 나머지 DP의 조절로서 그 영향을 최소화시킬 수 있으므로 문제가 되지 않는다.

지금까지 FR과 DP의 선정에서부터 결정된 FR과 DP로 설계 행렬에 적용시켜본 바와 같이 CAD 시스템의 개발에 있어서 결정된 FR과 그에 해당하는 DP는 새로운 CAD 시스템을 개발하고 기존의 CAD 시스템을 수정 보완하는데 적절하게 선택되었음을 알았다.

제 2 장 차량용 고무설비 상세설계 지원 CAD System 개발

제 1절 CAD 시스템의 구성

1.1 CAD 시스템의 구조

차량용 고무설비 설계 지원 CAD 시스템은 부품별 상세 설계 및 부품간의 제약조건의 적용으로서 상세 설계 모델의 제약 조건을 포함하는 설계 결과의 시뮬레이션의 수행기능을 포함하여야 한다. 또한, 부품의 조립성 평가 및 작동 메커니즘의 개발로서 범용 메카니즘의 모델링 및 라이브러리화를 수행하여야 하며, 설비 설계 엔지니어가 사용하기 용이한 툴을 제공해야 한다. 위와 같은 목적을 이루기 위해서 3차원 부품의 모델링에는 3차원 CAD 프로그램인 SolidWorks[10]를 사용했고, 설계 결과의 시뮬레이션 수행은 CAD 파일의 시뮬레이션 프로그램인 Working Model 3D[11]를 사용했다. 위의 프로그램들이 제공하지 않는 기능을 수행하기 위해서 본 실험실에서 Microsoft Windows NT 또는 Windows 98환경에서 Visual Basic 언어를 이용하여 [1] 직접 프로그래밍한 Gear Wizard, 3차원 도면의 2차원 평면 도면으로 변환시켜주는 모듈, [2] Working Model 3D로 설계 결과를 시뮬레이션한 파일들을 자동으로 찾아서 슬라이드로 보여주는 모듈, [3] SolidWorks 및 Working Model 3D로 모델링 및 시뮬레이션 한 모델의 각 부품에 대한 속도, 각속도, 힘, 토크 등의 물리적 속성을 표시해 주는 모듈 등으로 시스템이 구성되어 있다.

1.2 CAD 시스템의 구조

본 과제에 사용된 CAD 시스템은 크게 상용 3차원 CAD 모델링 툴인 SolidWorks와 CAD 파일의 시뮬레이션 툴인 Working Model 3D, 그리고 본

과제에서 도출된 모듈인 SolidWorks용 2D Converter, Gear Wizard, Working Model 3D용 모듈인 Slide Show, Property Displayer로 구성된다.

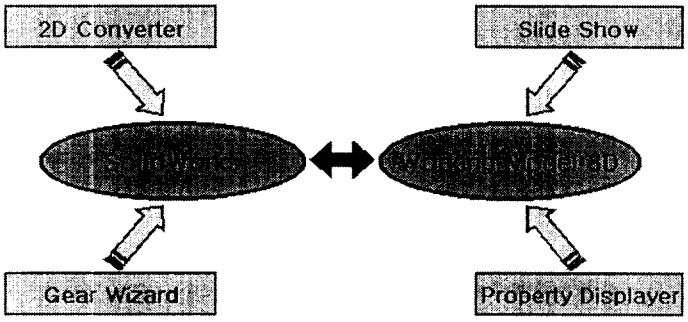


그림 2-1. CAD 시스템의 구성

각각은 다음의 그림에서와 같이 각각 다른 기능을 유기적으로 원활하게 발휘하면서 전체의 CAD 시스템을 구성하고 있는데, 3차원 부품 모델링 및 부품간의 연관성을 설정할 수 있는 SolidWorks 부분과 부품간의 제약조건 적용 및 시뮬레이션을 통한 간섭 검색 및 조립 가능성을 평가 할 수 있는 Working Model 3D 부분, 그리고 모델링의 편의를 위한 Gear Wizard, 2차원 도면 변환 모듈, 시뮬레이션 결과를 한눈에 쉽게 찾아볼 수 있는 슬라이드 쇼 모듈, 물리적 속성을 표시해 주는 모듈 등의 흐름으로 구성되어 있다. 다음에 각각 프로그램과 하위 모듈의 기능을 간략히 표로 정리하였다.

프로그램	기 능	하위 모듈	기 능
SolidWorks	· 3차원 part 모델링 · 부품간 연관성 설정	2D Converter	· 3차원 도면의 2차원 평면도면화
		Gear Wizard	· 부품 모델러
Working Model 3D	· 부품간 제약조건 적용 · 간섭 검색 및 조립성 평가	Slide Show	· 시뮬레이션 파일 탐색 및 슬라이드
		Property Displayer	· 부품의 물리적 상태 표시

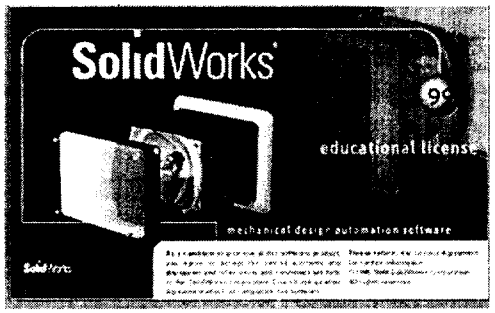
표 2-1. 프로그램 및 모듈의 기능

제 2절 CAD 시스템의 기능

1.1 주요 기능 및 사용법

앞 절에서 살펴본 차량용 고무설비 상세 설계지원 CAD 시스템의 프로그램별 모듈별 기능과 특징은 다음과 같다.

가. SolidWorks



SolidWorks는 Microsoft사의 Windows 98 또는 NT 운영체제에서 작동되는 기계 설계 자동화 소프트웨어로서 Windows 운영체제의 친숙한 GUI (Graphical User Interface)의 장점을 갖고 있으며 쉽게 배울 수 있어서 설계자로 하여금 자신의 아이디어를 쉽게 스케치 할 수 있게 하며, 형상과 치수로 실제 형상을 시각화하여 볼 수 있으며, 상세 도면과 형상 모델링을 가능하게 하는 상용 프로그램이다.

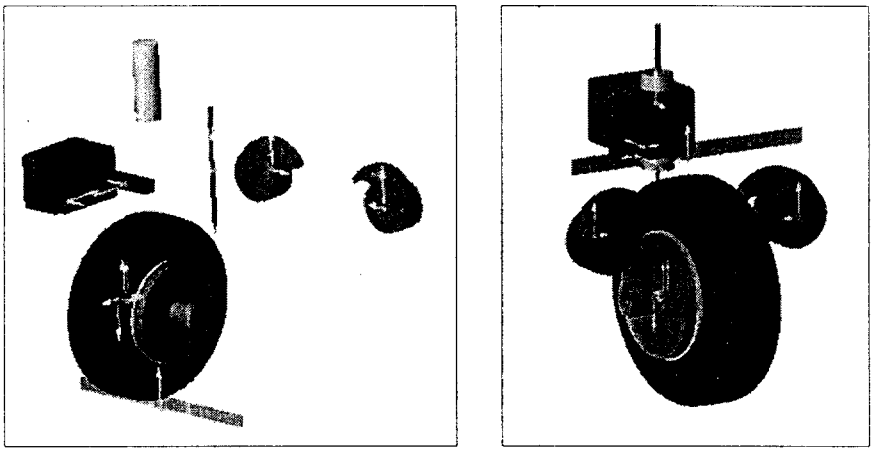
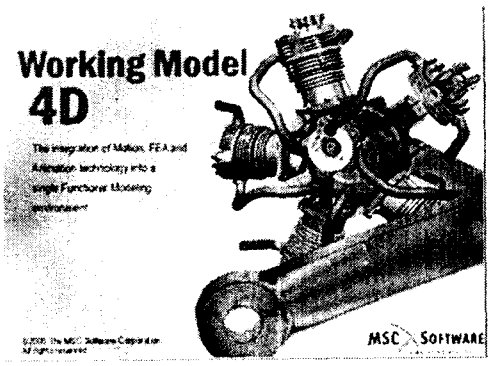


그림 2-2. SolidWorks로 모델링한
Knitting mechanism의 파트 파일과 어셈블리 파일

본 과제에서 SolidWorks는 설비의 부품설계 시 주된 모델링의 툴로서 사용되었다. 각각의 부품을 치수와 형상을 고려하여 3차원의 part file로 따로따로 모델링 한 후에, 완성된 모든 part들을 다시 assembly file에서 SolidWorks에서 제공하는 mate 기능을 이용하여 각 part간의 연관관계를 정의함으로써 하나의 조립된 부품 또는 설비로 모델링 하였다.

나. Working Model 3D



Working Model 3D도 앞에서 살펴본 SolidWorks와 마찬가지로 Windows 운영체제에서 작동되는 소프트웨어로서, CAD 파일을 동역학적 계산에 근거하여 3차원적으로 사용자가 모델을 이해하기 쉽게 가시화 시켜주는 상용 프로그램이다. 이 프로그램은 동역학적 실제 시뮬레이션뿐만 아니라 모델의 응력해석이 가능한 모듈을 갖추고 있기 때문에 CAD 모델의 분석 툴로서 매우 유용한 툴이다.

본 과제에서 Working Model 3D는 SolidWorks로 모델링 된 조립품 또는 설비 시스템을 실제의 물리적 환경을 부여하여 시뮬레이션 시켜 봄으로써 부품간의 간섭을 검색하거나 각 부품에 걸리는 힘이나 토크, 속도 또는 각속도 등을 실시간으로 시뮬레이션 시키면서 분석하는 툴로써 사용되었다.

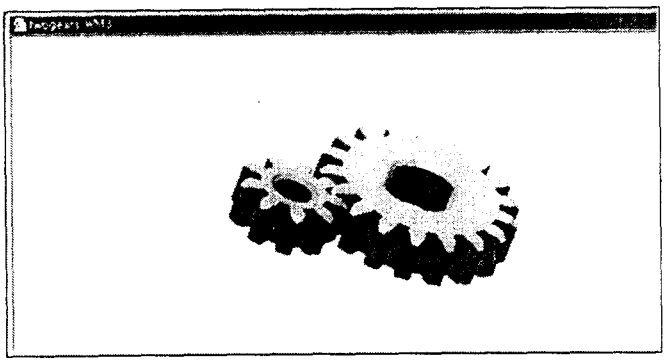


그림 2-3 (a) Gear Wizard로 모델링한 기어모델

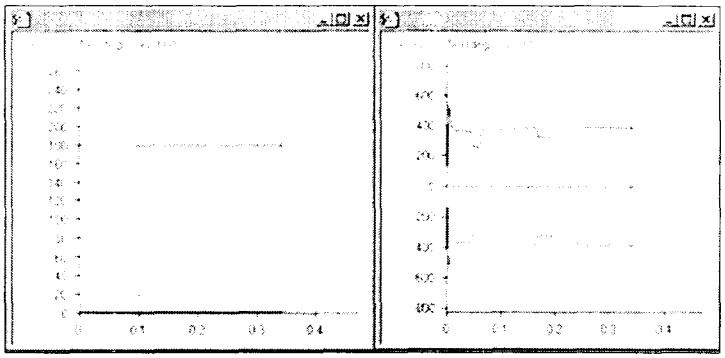


그림 2-3 (b) Working Model 3D로 시뮬레이션 시킨 모델의 속성 그래프

다. 2D Converter for SolidWorks

2D Converter for SolidWorks는 과제의 목표를 실현하기 위해 본 실험실에서 Visual Basic 언어로 코딩한 모듈이다. 2D Converter는 3D CAD 툴에서 기본적으로 제공되는 3차원으로 모델링된 부품들을 현장 엔지니어들에게 보다 친숙한 2차원 도면으로 변환시켜주는 모듈이다.

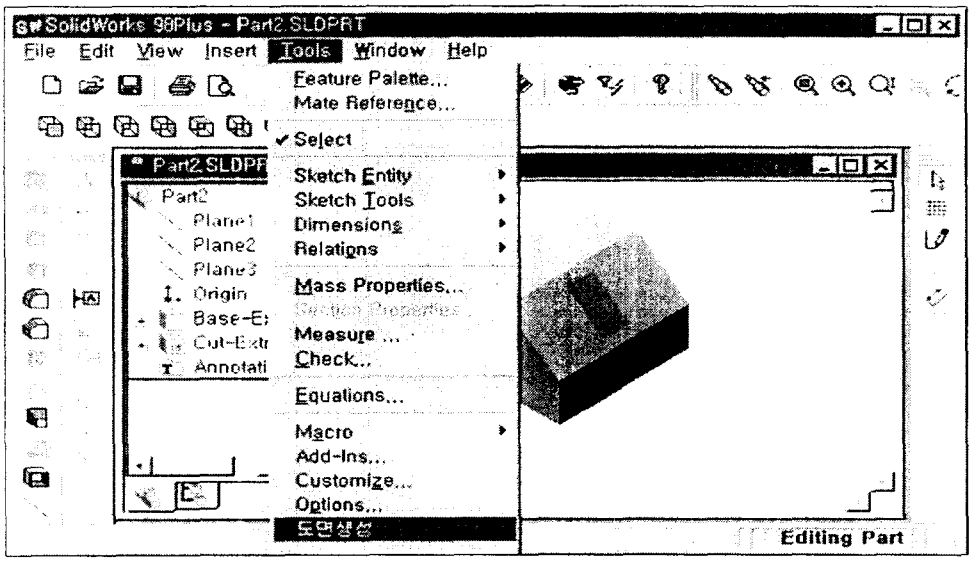


그림 2-4 SolidWorks의 Tools 메뉴에서 도면생성을 선택하여 2D Converter를 실행한다.

2D Converter는 SolidWorks의 API 형태로 만들어졌기 때문에 그림 4에서 보는 것처럼 SolidWorks의 메뉴에 포함된다. SolidWorks의 Tools 메뉴를 선택하고 하위메뉴에서 도면생성을 클릭하면 2D Converter가 실행되면서 현재 SolidWorks에 열려있는 파일이 part 파일인지 assembly 파일인지에 따라서 새로운 창이 뜨게 된다.

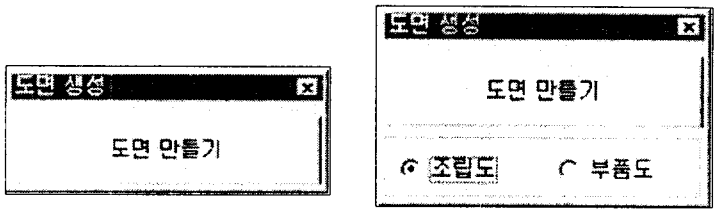


그림 2-5 도면 생성시의 조립도 또는 부품도 선택의 옵션창

Part 파일의 경우에는 옵션 사항이 없고, assembly 파일의 경우에는 조립도와 부품도의 옵션을 선택한 후에 도면 만들기 버튼을 누르면 보기 설정에 대한 옵션창이 뜨게된다. 보기 설정에서 삼각법에 의해서 정면도, 평면도, 측면도 중에서 필요한 도면만 선택하고 확인 버튼을 누르면 치수입력에 관한 옵션창이 뜨게된다. 치수입력에 대한 옵션을 선택하고 확인버튼을 누르면 사용자가 선택한 옵션에 의해서 2차원 평면 도면이 생성된다.

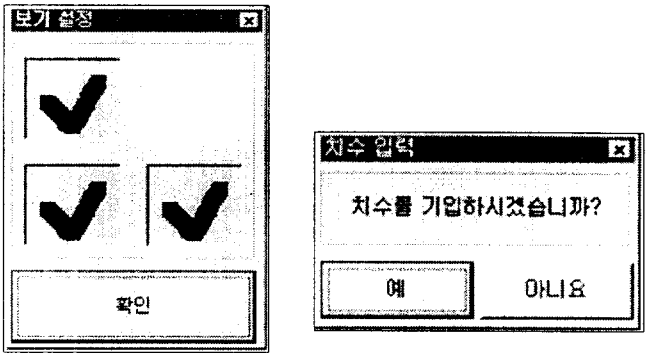


그림 2-6. 삼각법에 의한 2차원 도면의 선택창 및 치수입력 선택 창

또한 생성된 평면도면에 사용자의 필요에 따라 부투상도를 포함시킬 수도

있고 도면의 크기나 축척에 대한 속성을 변경할 수도 있다.

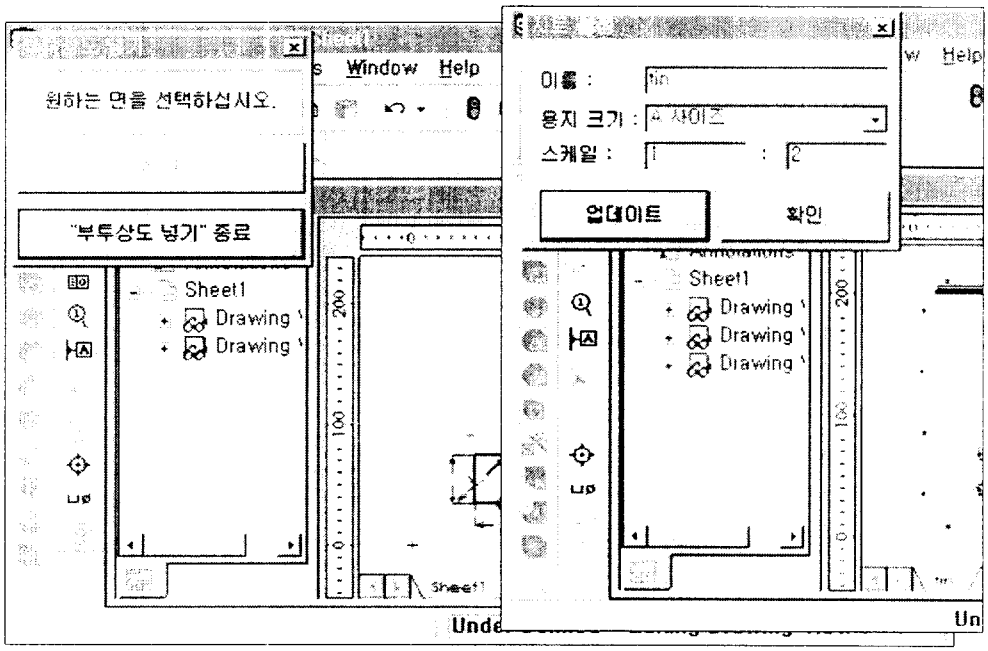


그림 2-7. 부투상도 및 도면 크기에 대한 옵션 창

라. Gear Wizard for SolidWorks

Gear Wizard는 Visual Basic으로 코딩된 SolidWorks API 프로그램이다. 본 프로그램은 과제의 진행시 자주 사용되는 부품을 모델링할 때의 편의성을 위해서 제작된 것으로써 SolidWorks에서 사용자가 모든 형상을 모델링하고 각각의 치수를 기입하는 번거로움과 시간낭비를 획기적으로 줄여줄 수 있는 프로그램이다. Gear Wizard는 앞에서 설명한 2D Converter와는 달리 단독적으로 실행시킬 수 있는 프로그램이다. Wizard.exe 파일을 실행하면 다음과 같이 프로그램이 실행된다. Gear Select 메뉴에서 Spur, Helical gear를 선택할 수 있고 Database를 선택하면 기어의 규격기호에 따른 제원에 대한 내용을 볼 수 있다.

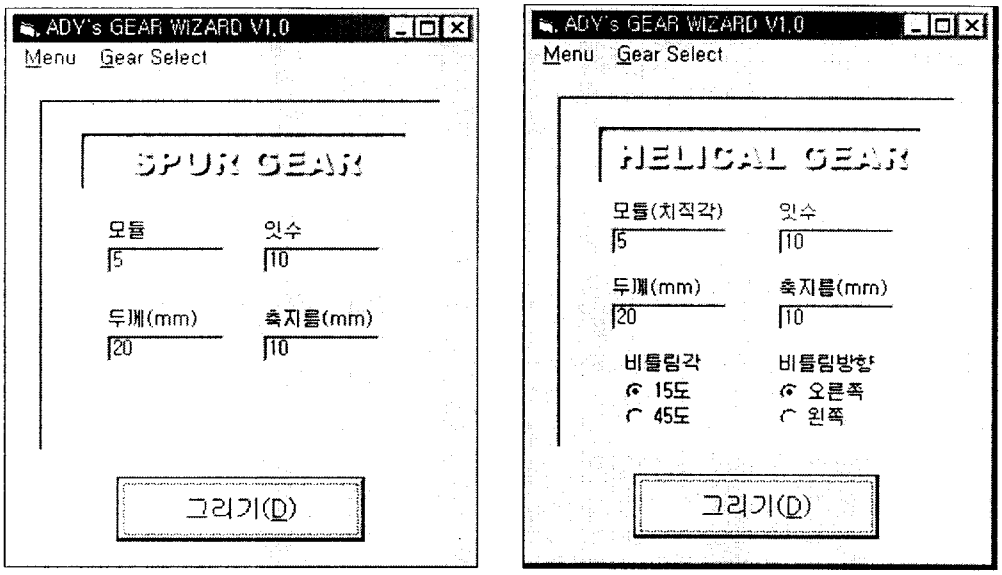


그림 8. Gear Wizard의 화면 구성

Spur gear를 그릴 때는 모듈, 잇수, 두께, 축지름에 대한 정보를 입력하고 그리기 버튼을 누르고, Helical gear를 그릴 때는 모듈, 잇수, 두께, 축지름 및 비틀림각과 방향을 지정해주면 사용자의 선택에 따라 자동으로 SolidWorks에서 gear가 생성된다. 그림 3에 위와 같은 방법을 모델링된 gear가 나타나 있다.

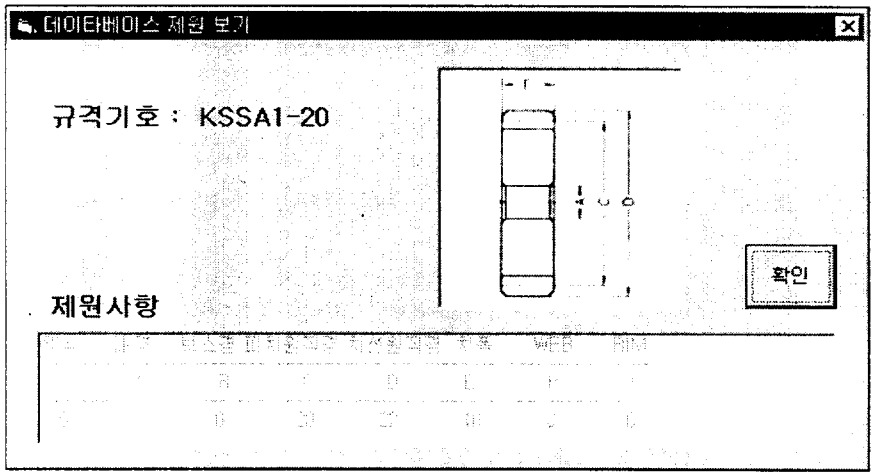


그림 2-9. (a) Database 표시 창

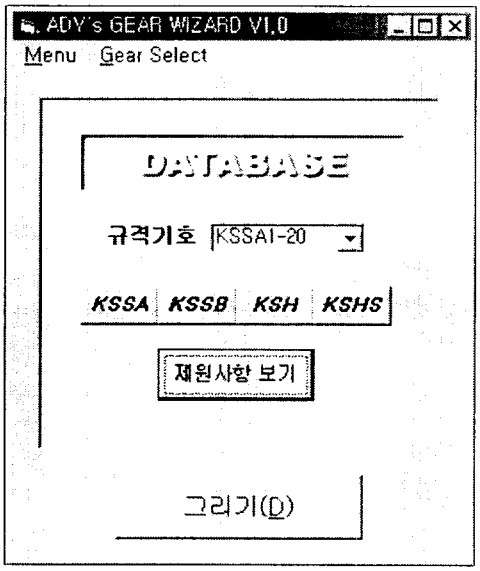


그림 2-9 (b). Database 표시 창

메뉴에서 Database를 선택하면 그림 9와 같은 창이 열리게 된다. 사용자가 규격기호를 선택하고 제원사항 보기 버튼을 클릭하면 간략한 그림과 함께 제원사항에 대한 Database가 표시된다.

마. Slide Show for Working Model 3D

Slide Show는 Working Model 3D의 보조 프로그램으로써 Visual Basic으로 코딩되었다. Slide Show는 Working Model 3D에서 작성된 wm3 형식의 파일을 사용자의 컴퓨터에서 찾아서 사용자의 입력이 있을 때까지 차례대로 시뮬레이션 시켜주는 프로그램으로써 Working Model 3D로 작성된 설계 모델링 파일의 프레젠테이션에 적합하다.

Slide Show를 실행시키면 그림 10과 같이 Working Model 3D로 작성된 폴더가 있는 곳을 선택하는 창이 열린다. 서브폴더 항목 보이기 및 무한 반복에 대한 옵션을 선택하고 쇼 시작 버튼을 누르면 사용자가 선택한 폴더 내에 있는 모든 wm3 형식의 파일을 시뮬레이션 시켜준다.

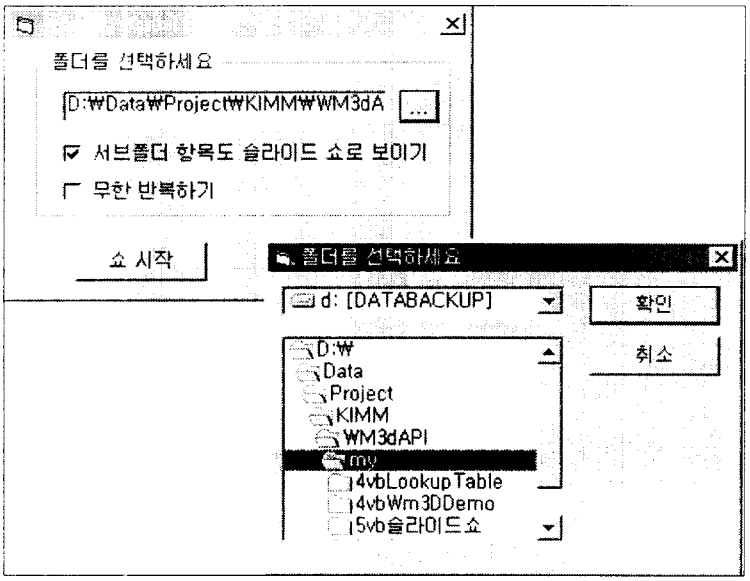
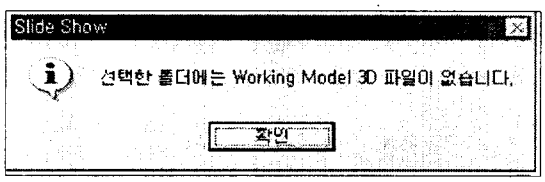


그림 2-10 Slide Show의 폴더 선택화면

사용자가 선택한 폴더에 wm3 파일이 없을 경우 또는 시뮬레이션 도중에 사용자가 정지버튼을 누르면 다음과 같은 창이 열리면서 슬라이드 쇼를 계속할지 여부를 묻게 된다.



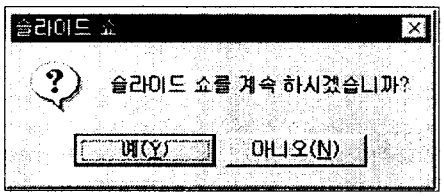


그림 2-11. wm3 파일이 없을 경우의 경고창 및 사용자의 정지 명령시 확인창

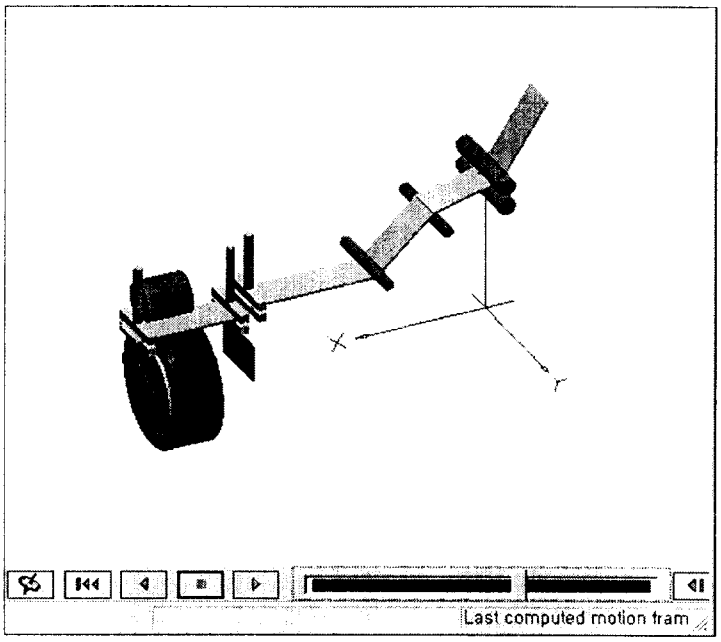


그림 2-12 (a) Working Model 3D에서의 시뮬레이션 화면

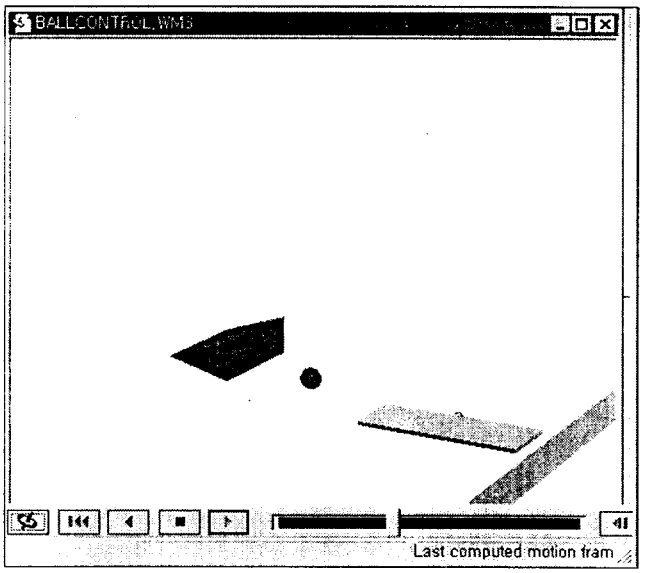


그림 2-12 (b) Working Model 3D에서의 시뮬레이션 화면

바. Property Displayer for Working Model 3D

Property Displayer 역시 Working Model 3D에서 사용되는 설비 엔지니어의 편의를 위해서 Visual Basic으로 코딩된 프로그램이다. Working Model 3D에 익숙하지 않은 사용자가 형상화된 모델의 부품별 물리적 속성에 대해서 한눈에 쉽게 알 수 있도록 한번의 버튼 클릭으로 화면에 표시해준다. 표시할 수 있는 부품의 물리적 속성으로는 속도, 가속도, 각속도, 각가속도, 힘, 토크 등이 있다.

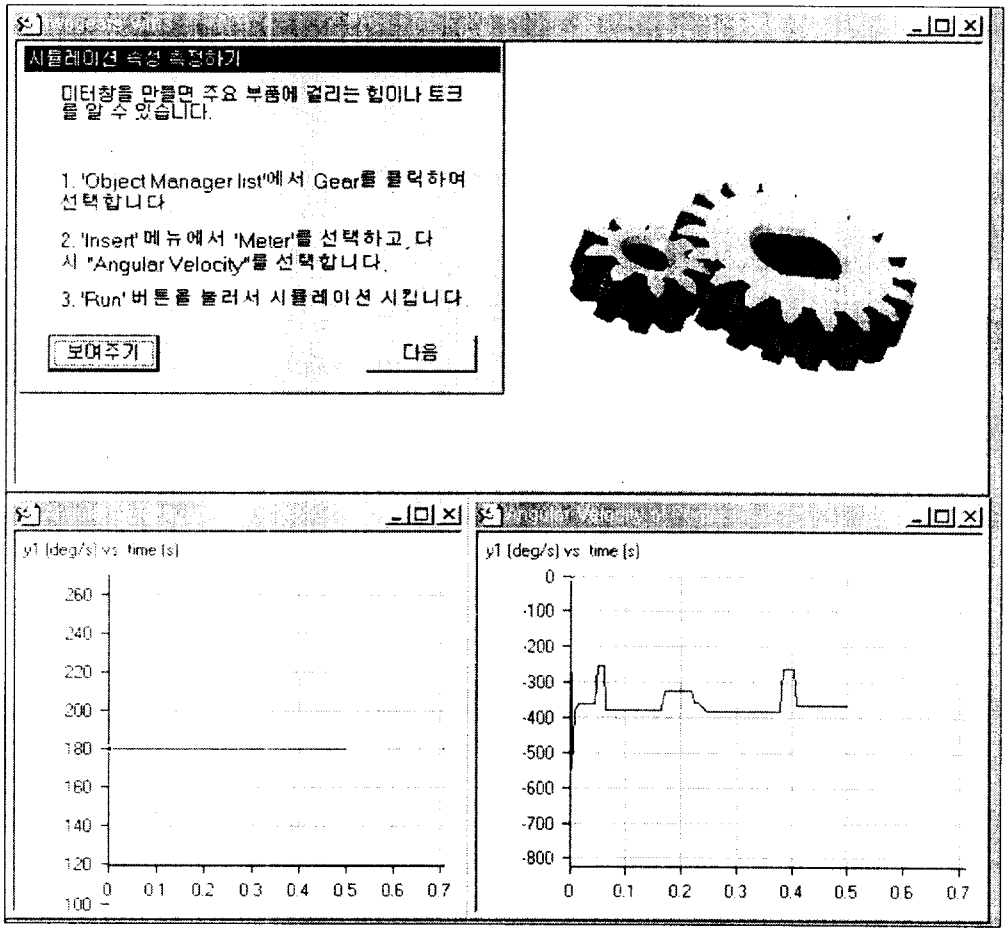


그림 2-13. 맞물려 돌아가는 두 기어의 물리적 속성을 표시할 수 있다.

이 프로그램으로 Knitting model 2가지에 대한 워킹모델 파일에 적용해 본 결과는 다음과 같다.

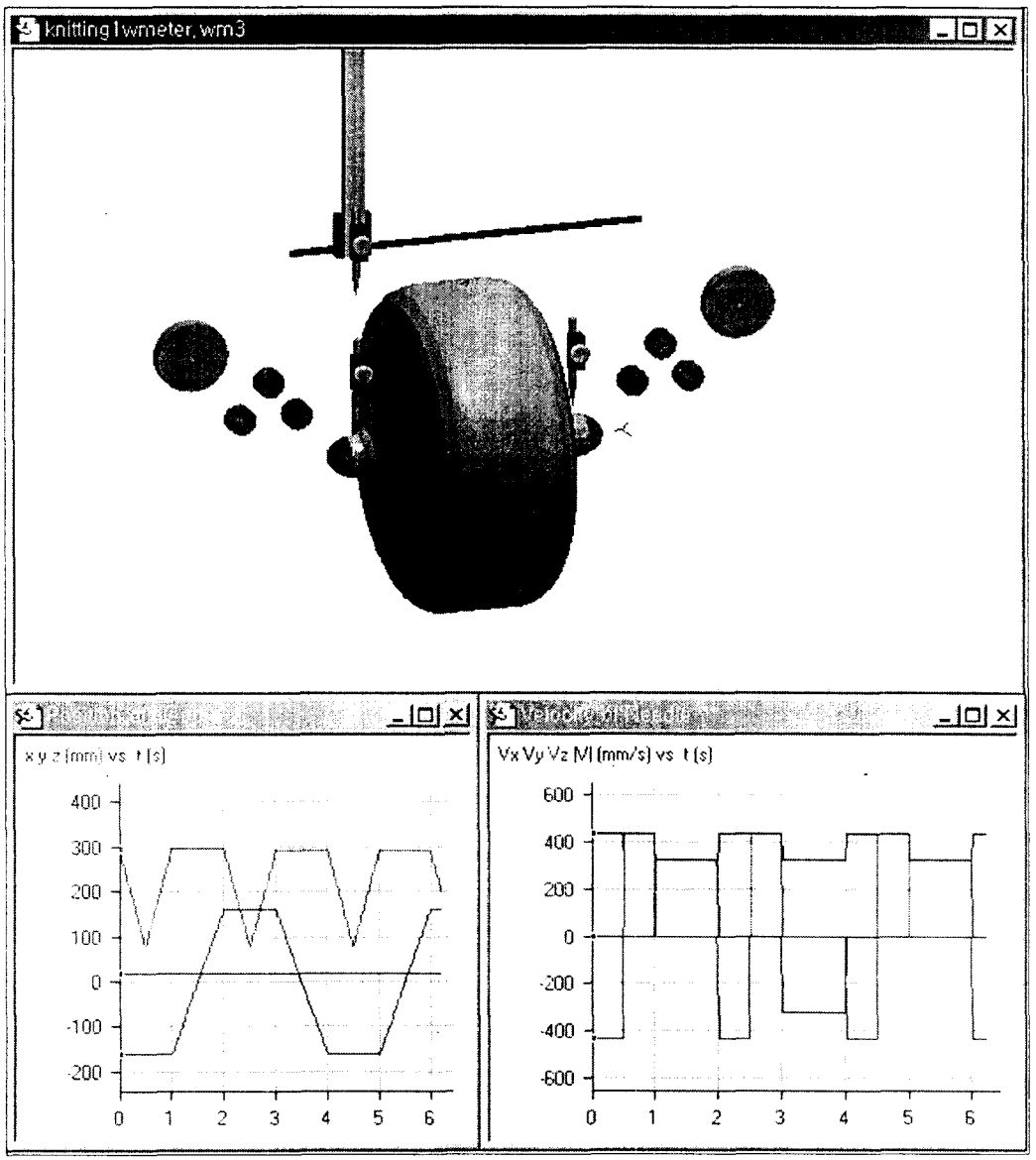


그림 2-14. 첫 번째 Knitting model에 대한 속성 그래프

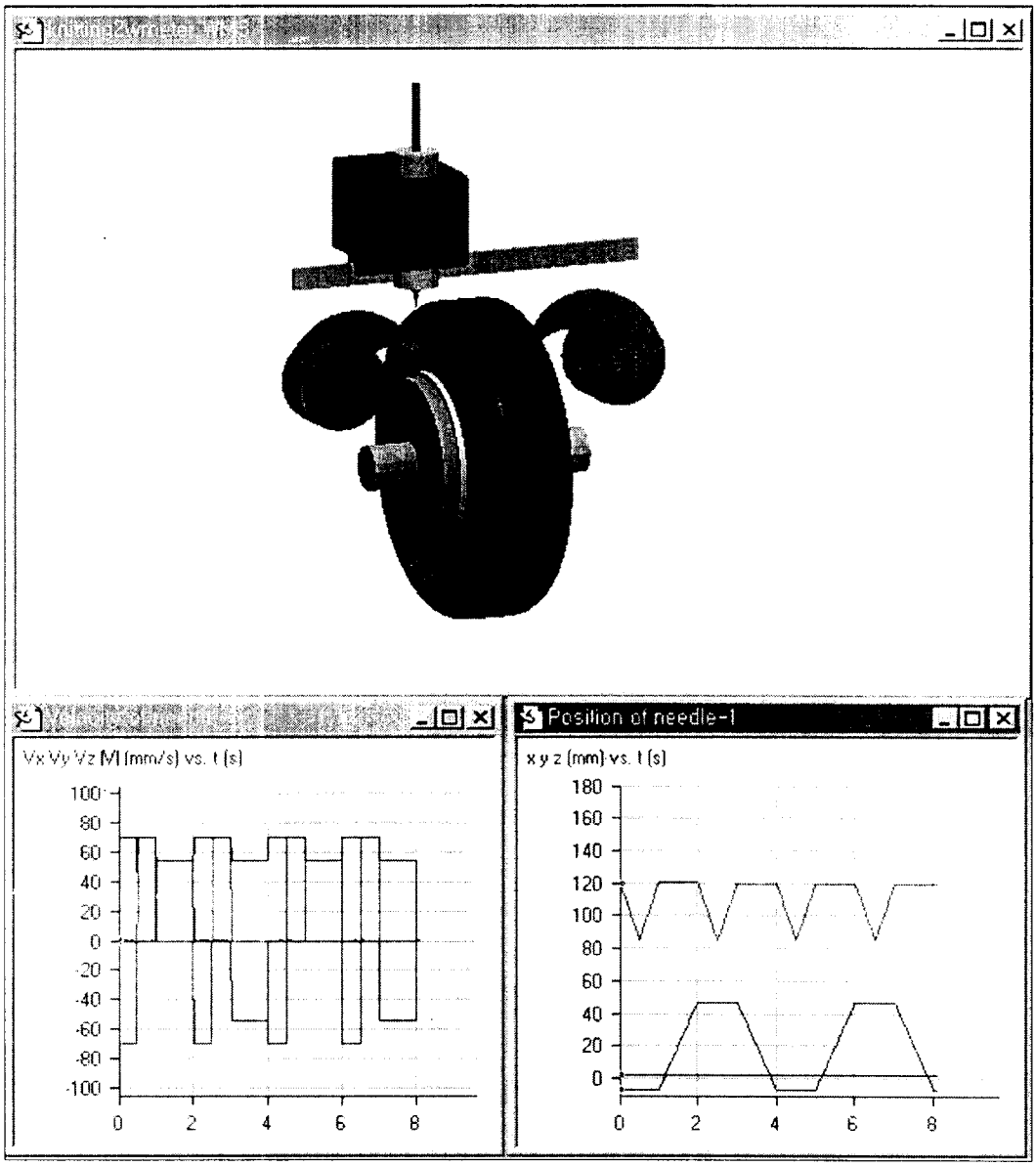


그림 2-15. 두 번째 Knitting model에 대한 속성 그래프

제 3 장 결론 및 향후 제언

본 연구는 차량용 고무설비 상세 설계 지원 CAD 시스템의 개발을 주제로 하여, 설비 설계 엔지니어가 사용하기 용이한 설계용 툴의 개발, 설계의 적합성 판단 및 모델링 된 부품간의 간섭 검색을 위한 기술 개발 및 효율성 증대를 위한 모듈의 개발 등을 목표로 진행되어 왔다.

또한 공리적 접근법을 이용하여 새로운 CAD 시스템을 개발하는 과정에 적용시켜 보았다. 우선 기존의 범용 CAD 시스템의 장단점의 파악과 자동차용 고무설비 상세 설계 지원 CAD 시스템에 요구되는 사항의 정리 및 결정에 공리적 설계 이론을 적용하여 보다 체계적으로 CAD 시스템의 설계 방향을 설정할 수 있었다.이에 따라 이전의 방법으로는 쉽지 않았던 사항들을 '고객의 요구사항', '기능적 요구조건', '설계 변수' 및 '프로세스 변수' 등의 개념을 이용하여 각각의 '고객 도메인', '기능적 도메인', '물리적 도메인' 및 '프로세스 도메인'의 기준에 의해 논리적으로 명확하게 분류했고, 각각의 관련성을 설계 행렬을 이용해서 정확하게 분석 및 파악할 수 있었다.

즉, 우선 CAD 시스템을 개발하는데 필요한 customer의 요구조건을 파악하고 그를 상위 요구조건에서부터 하위 요구조건으로 정리하고 각각 그에 해당하고 요구조건을 만족시킬 수 있는 설계 변수를 선정하였다. 위에서 선정된 기능적 요구조건과 설계 변수의 상관관계를 파악하기 위해서 설계 행렬에 적용시켜보고 결과를 파악해보았으며 그 결과에 의하면 선정된 요구조건과 변수들이 적절함을 검증하였다.

또한, 구체적인 차량용 고무설비의 설계가 나오지 않은 상태에서 즉시 사용가능한 툴이나 기술을 개발하는 것은 무리였으나, SolidWorks와 Working Model 3D를 이용해서 그림 14나 그림 15에서 보는 것처럼 개념적인 설비 모델만 있어도 현실적인 수준의 모델링과 이로 인한 최적화된 설계의 판단을 할 수 있었고, Property Displayer와 같은 모듈을 이용하여 모델의 동작을 가시화시키기 위해 동역학적 시뮬레이션을 실행시켰을 때, 부품의 위치, 속도, 각속도 등의 기본적이면서 필수적인 물리적 속성을 실시간 그래프로 나타내어 설비 엔지니어에게 설계의 적합성 판단에 중요한 근거 자료를 제시할 수 있다는

것을 알았다.

또한, 본 과제에서 개발한 2D Converter와 같은 모듈은 상용 CAD 시스템에 사용자가 원하는 기능을 추가 할 수 있다는 가능성을 보여줌으로써 앞으로 요구될 수 있는 설비 엔지니어의 요구사항을 항상 만족시킬 수 있음을 알 수 있다. Gear Wizard와 같은 프로그램은 설계시 자주 등장하는 부품을 설계 엔지니어가 매우 쉽고 가시적으로 반복적인 작업 없이 쉽게 모델링 할 수 있게 함으로써 사용하기 용이한 설계용 툴이라는 목적에 적합하다고 할 수 있다.

본 과제에 대한 향후 과제로는 설계자의 설비 모델시 자주 사용될 수 있는 Gear Wizard와 같은 부품 설계 툴을 다양한 종류로 갖춰서 개념적 설비 모델링을 쉽고 빠르게 할 수 있도록 하는 과제 및 여러 가지 상용툴을 분석하여 이번 연구의 경우처럼 SolidWorks나 Working Model 3D라는 특정한 툴에만 적용되는 것이 아닌 시중에 있는 다양한 종류의 툴에 적용 가능한 범용 어플리케이션을 제작하는 과제 등이 있을 것이다.

참고문헌

1. 이항구, "국내 자동차산업의 구조 개편과 타이어 산업의 대응전략", 타이어 1999 4호, 1999
2. 이항구, "21세기 타이어 산업의 발전 전략", 타이어 2000 1호, 2000
3. 경영률, "타이어 기술의 새로운 발전", 타이어 2000 1호, 2000
4. 김경영, "조립검사를 지원하는 특징형상 모델러 개발", 연세대학교, 1997
5. 김재중, "지능형 제품설계 시스템의 Framework개발과 지식추가에 관한 연구", 연세대학교, 2000
6. Biren Prasad, "Concurrent Engineering Fundamentals - Integrated Product and Process Organization", Prentice Hall, 1996
7. Andrew Kusiak, "Engineering Design - Products, Processes, and Systems", Academic Press, 1999
8. 이건우, "컴퓨터그래픽과 CAD", 영지문화사, 1998
9. 엄정섭, 권오성, 김희종, "따라하세요 SolidWorks", 영진출판사, 2000
10. SolidWorks, "SolidWorks User's Guide", SolidWorks, 1999
11. MSC Software, "Working Model User's Guide", MSC Software, 2000
12. 김기화, "Microsoft Visual Basic Win32 API Bible", 삼양출판사, 1999
13. 조성용, "한글 비주얼 베이직 6.0 실전 프로젝트", 정보게이트, 1999
14. 구진모, "공리적 설계 접근법을 이용한 차량용 고무설비 상세 설계지원 CAD 시스템 개발", 연세대학교 CADCAM 연구실 기술보고서_NO_063000, 2000
15. Jason D. Hintersteiner, Amrinder S. Nain, "Integrating Software into Systems : An Axiomatic Design Approach", *Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering Design and Automation*, 1999
16. Harutunian V., Nordlund M., Tate D., and Suh N. "Decision Making and Software Tools for Product Development Based on Axiomatic Design Theory." Submitted to: The 1996 CIRP General Assembly in Como, Italy, August 25-31, 1996. (CIRP Annals, Vol. 45/1)
17. Hintersteiner, J. D. and Tate, D. (1998). "Command and Control in

Axiomatic Design Theory: Its Role and Placement in the System Architecture." Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering Design and Automation, Maui, HI. August 9-12, 1998.

18. Nordlund M., Tate D., Suh N.P., "Growth of Axiomatic Design through Industrial Practice", 3rd CIRP Workshop on Design and the Implementation of Intelligent Manufacturing Systems, Tokyo, Japan, pp. 77-84, June 19-21, 1996.
19. 문용락, 차성운, 이정욱, "공리적 접근을 이용한 아이디어 제품 개발"
20. 이현주, 문용락, 차성운, "공리적 접근법을 이용한 기차 Rail 연결부위의 개선"