

설계 정보를 수용하는 새로운 CAD 시스템의 프레임워크

이강수*, 이권우**

Framework of a New CAD System for Incorporating Design Information

Kang-Soo Lee* and Kunwoo Lee**

ABSTRACT

In this paper, we propose the framework of an integrated design system as a CAD system of a new concept that can incorporate the design information. Current CAD systems are powerful in representing the shape of a product with solid models but cannot provide the design information that is used or created in designing the product. Therefore an integrated design system is proposed to enable the storage and usage of the design information in addition to the shape manipulation. In order to represent the design information, we define *element object* that represents design element such as a part, a sub-assembly or an assembly by using object-oriented methodology. The element object carries various design information such as design parameters, documents, catalogues, functions, and behaviors as well as shapes. By using the stored information, the system can provide a designer with some functions to assist design activity such as interrogating necessary information, setting design parameters and goals, and constructing constraints among design elements. A mailing system is also constructed among element objects to assist a collaborative design. In addition, an evolutionary design method using genetic algorithms is realized within the proposed framework.

Key words : CAD, design information, integrated design system, evolutionary design, element object

1. 서 론

설계 결과는 활용된 정보에 영향 받는다. 즉, 최적의 정보를 취득하여 제품 설계에 이용하면 좋은 설계가 될 수 있고, 취득한 정보가 좋지 않으면 좋은 설계가 될 수 없다. 그러나 현재 설계 시스템에서는 이러한 정보를 관리할 못하고 있다. 기계 설계에서 설계의 진행 정도는 결국 형상으로 표현 되어야 하고, 형상을 표현하기 위해 이차원 CAD 시스템 또는 삼차원 CAD 시스템을 사용한다. CAD 시스템에서 표현 되는 형상은 설계가 진행됨에 따라 점점 구체화 된다. 그러나 CAD 시스템에서 구체화 되는 형상은 임의로 결정되는 것이 아니라 설계자의 지식과 경험, 표준 규격과 카타로그와 같은 참고 문헌, 기타 주위 환경 등을 반영한 것이나 CAD 시스템에서 표현

된 형상은 이러한 정보의 내용을 나타내지 못 한다¹⁾.

위와 같은 문제를 해결하기 위한 방안으로 설계 시스템에 물체의 형상 뿐 아니라 지식, 정보를 저장하여 이용하려는 통합 설계 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. 그 한 예로 제품의 정보 중 기능에 초점을 둔 연구²⁾가 있다. 이는 인공 지능에 대한 연구의 확장 또는 응용인 성격이며 제품을 나타내기 위해 주로 심볼을 사용 하여 기계 설계에 적용되기가 어렵다. 이러한 한계를 극복하고자 개념 설계에서 설계 대상의 기능과 형상을 함께 고려하는 연구³⁾도 진행되고 있다. 또한 전문가 시스템을 설계에 이용하려는 연구⁴⁾도 있으며 유전 알고리즘을 이용하여 진화 특성을 설계에 이용하려는 연구⁵⁾도 진행되었다. 그리고 제품의 형상 표현을 기반으로 하되 설계에 필요한 지식과 정보를 함께 취급하려는 통합 설계 시스템에 대한 연구^{6,7)}가 있다.

이 외에도 컴퓨터를 이용하여 기계 설계를 체계화하려는 다양한 연구가 있다. Wallace는 부품 설계 시

*정회원, 대우중공업(주) 중앙연구소

**정회원, 서울대학교 정밀기계설계공동연구소

설계 인자를 염색체로 취급하고, 설계 인자마다 설계자가 필터 개념의 허용 함수를 부여한 후 유전 알고리즘을 이용하여 설계 목표를 만족 시키는 방법¹⁰⁾을 연구하였으며, 이 개념을 DOME(Distributed Object-based Modeling and Evaluation) 시스템에서 설계 결과를 평가하는 기법으로 사용¹¹⁾ 하였다. 또한 DOME 시스템에서는 기존의 방법과 유사하게 조립체를 구성하는 부조립체와 부품이 객체로 표현되며, 네트워크를 이용한 설계가 가능하고 설계된 객체에 대한 평가로 설계 개선이 가능하다는 개념을 제시하였다. 이 시스템은 설계를 진행하는 성격보다 설계를 평가하는 특성이 있다. 미국국립표준연구소(NIST)에서는 EDT(Engineering Design Technologies) 프로그램을 통해 설계 시스템에 대한 연구를 수행 하고 있다. Sriram은 설계 정보를 취급하는 설계 시스템¹²⁾을 구축하였고, 설계 시스템에 사용하기 위해 객체의 표현 방법에 대한 연구¹³⁾도 하였다. EDT의 연구에서는 설계 명령어를 프로그래밍 언어처럼 이용하여 설계 요소를 표현하여 진행하며 이러한 방식은 복잡한 실제 형상을 표현하기가 어렵다. Stanford 대학의 CDR(Center of Design Research)에서는 설계 시스템과 동시 설계, 협동 설계에 대한 연구를 수행¹⁴⁾ 하였다. CDR의 연구는 데이터베이스 시스템, 전문가 시스템 등의 여러 전문 프로그램을 통합하여 통합 설계 시스템을 구축하였다.

본 연구에서는 다양한 정보를 다루는 기계 설계에 사용될 수 있는 통합 설계 시스템을 제안 하였다. 제안한 통합 설계 시스템은 현재 기계 설계 과정에서 사용되고 있는 CAD 시스템의 자료 구조를 확장함으로써 설계 정보를 수용하고 설계 진행에 사용되도록 한 점이 이전의 연구와 다르다. 이를 구현하기 위해 기계 설계 시 일반적으로 고려할 정보 내용을 살펴 보고, 객체 지향 방법을 사용하여 설계 요소를 표현할 수 있는 요소 객체를 정의 하였다. 그리고 정의된 요소 객체가 설계 정보를 충실히 저장하고 활용하는 지를 살펴보고 이를 이용하여 설계 과정에 유용한 기능을 제시 하였다. 제안된 요소 객체를 사용하여 통합 설계 시스템을 구현하고, 구현된 설계 시스템을 이용하여 1 단 감속기를 설계하는 과정을 보여 본 연구에서 제안하는 통합 설계 시스템의 효용성을 입증하였다. 그리고 실제 산업계에서 개발한 지게차 변속기에 적용하여 실용성을 보였다.

2. 기계 설계에 필요한 정보

본 연구에서 제안하는 통합 설계 시스템에서는 설

계에 관련된 정보를 효율적으로 저장, 관리하여 설계 과정 및 설계 인자, 제약 조건 등을 나타내므로 설계 과정 중에 사용하는 설계 정보를 살펴 보고 연구를 진행할 필요가 있다. 설계 과정 중 설계자가 사용하는 제품 설계에 필요한 정보에는 여러 가지가 있으나 표면적으로 발생하는 정보에는 다음과 같은 것들이 있다.

(1) 설계 요구 조건: 시장 조사와 회사의 기술 및 기타 상황을 고려하여 개발 하려는 제품에 대한 설계 요구 조건을 결정한다.

(2) 형상 정보: 솔리드 모델 또는 와이어프레임 모델 등으로 제품의 형상을 나타낸다.

(3) 공학 정보: 설계할 부품에 관련된 설계 인자, 설계 목표, 문헌 정보, 다른 부품과의 관계, 설계 특징, 기능(function)과 거동(behavior) 등이 있다.

(4) 설계 과정 정보: 설계 과정을 나타내는 정보이다.

(5) 설계 조직 정보: 설계를 담당하는 조직에 대한 정보이다.

설계하는 제품의 형상과 정보를 동시에 다루는 통합 설계 시스템에서는 위에서 언급한 모든 정보를 취급할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 위의 설계 정보를 취급할 수 있는 요소 객체란 표현 객체를 정의하여 시스템에 이용하였다.

3. 설계 요소 표현

3.1 요소 객체 표현 방법 정의

최근 설계 시스템을 구현할 때 추상화, 상속성, 캡슐화의 특성이 있는 객체 개념을 이용하고, 시스템 설계 시에도 객체 지향 방법론^{18,19,21)}을 사용하는 경향이 있다. 이는 기존의 순차적인 방식에 비해 객체 지향 방법론이 우수하기 때문에 객체 지향 방법론을 이용해 설계 시스템을 구현하는 것은 당연하다고 볼 수 있다. 객체 지향 방법론을 설계 시스템에 적용할 때에는 객체로 표현할 요소를 선정하고 선정된 요소들 표현하는 방법을 정의하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 기계 설계에서 설계 대상이 되는 부품, 부조립체, 조립체 등 물리적인 요소와 설계 요구 조건, 제약 조건 등 추상적인 요소를 객체로 모델링 하였으며, 이 때 사용된 객체를 요소 객체(element object)라고 정의하였다.

요소 객체는 2 장에서 고려한 설계 정보를 저장할 수 있어야 하며, 저장된 설계 정보를 이용하여 설계 과정에 사용되는 유용한 기능을 제공할 수 있어야 한다. 이러한 기능으로는 요소 객체에 설계 인자와

설계 목표를 설정하고 관리하는 기능, 요소 객체에 설정된 정보를 이용하여 진화 설계 방법을 이용하는 기능, 요소 객체 사이에 제약 조건을 구축하고 전파하는 기능, 설계 인자를 사용하여 식을 정의하는 기능, 설계 과정을 저장하는 기능, 재설계를 쉽게 하는 기능, 요소 객체의 입력 설계 인자와 출력 설계 인자를 조회하는 기능, 표준 요소 객체를 정의하여 쉽게 이용하는 기능, 표준 요소 객체의 확장성을 지원하는 기능 등이 있으며 이러한 기능에 대해서는 4장에서 설명된다.

통합 설계 시스템에는 요소 객체에 관련된 특성 이외에 시스템의 원활한 운영을 지원하는 기능이 있어야 한다. 이는 설계 진행, 데이터 저장, 응용 프로그램 구동 등에 대한 것으로, 데이터 관리자, 공학 자료 관리자, 공학 해석 관리자, 설계 진행 관리자, 메일 관리자, 진화 설계 관리자 등이 있다. 이러한 관리자는 시스템 전역 객체로 존재하며 설계 진행을 도와 준다. 위와 같은 사항을 고려한 뒤 설계 시스템에 사용될 요소 객체를 Fig. 1과 같이 Rumbaugh¹⁵⁾의 표기법을 사용하여 표현하였다.

Fig. 1에 나타난 *ElementObject* 클래스는 본 연구에서 요소 객체라고 불리는 것으로 설계 요소를 표현하기 위해 정의되었다. Fig. 1에 나타난 다른 클래스들은 *ElementObject*의 구성 클래스가 된다. *ElementObject*는 기계 부품 또는 조립체와 같이 물리적인 요소와 설계 요구 조건, 공학 해석을 진행하기 위한 데이터, 설계 목표 등 추상적인 요소를 나타낼 수 있다. 속성으로 기계 설계 시 부품에 대해 일반적으로 관리하는 정보로 부품 명, 부품 번호, 재료, 사양 등이 있으며 설계 시스템에서 관리하는 정보로 버전 번호, 인스턴스 번호, 상위 객체 리스트, 하위 객체 리스트, 화면에 디스플레이하기 위한 정보 등이 있다. 또한 Fig. 1에서와 같이 정보를 저장하기 위하여 *Form*, *Information*, *Process*, *Mail* 등의 구성 클래스가 있다. 이는 설계 요소를 *Form*, *Function*, *Behavior*로 표현하는 종래의 방법을 수용하며 이들 클래스를 통해 실제 기계 설계 과정에 사용되는 다양한 정보를 취급할 수 있다. 메소드로는 속성 데이터를 설정, 해제하는 것과 화면상에 디스플레이하기 위한 것 그리고 구성 클래스의 속성을 조회하는 것 등이 있다.

Form 클래스는 요소 객체의 형상을 표현하기 위한 것이다. 기존의 인공 지능 연구 분야에서는 설계 요소의 형상을 주로 심볼로 표현하나, 기계 설계 과정에서는 이차원 또는 삼차원 형상을 항상 고려해야

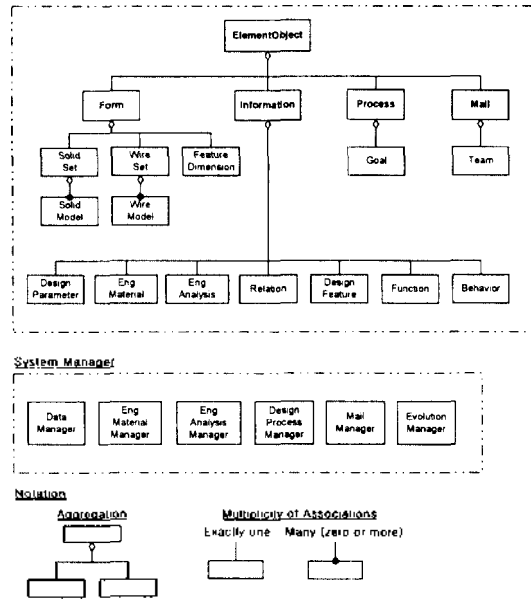


Fig. 1. Representation of element object and system managers.

하므로 일반적인 CAD 시스템의 표현 방법, 즉 솔리드 모델 또는 와이어프레임 모델로 설계 요소를 표현해야 한다. 또 설계 초기 단계에서는 설계 요소를 간단히 추상화된 형상으로 표현하고, 상세 설계 단계에서는 물체의 형상을 구체적으로 표현하므로 설계 요소를 표현하는 방법에 유연성이 많아야 한다. 그래서 요소 객체를 *SolidSet*과 *WireSet*, 그리고 이들의 구성 클래스인 *SolidModel*과 *WireModel*로 나타낸다. *SolidModel*은 솔리드 모델링 시스템에서 물체를 표현하는 데이터를 나타내며, *WireModel*은 와이어프레임 모델링 시스템에서 물체를 표현하는 데이터를 나타낸다. 개념 설계에서는 와이어프레임 모델을 주로 사용하고 상세 설계로 진행될수록 솔리드 모델을 사용하나, 상세 설계까지 진행된 상태에서도 개념 설계에 사용했던 와이어프레임 모델을 보존한다. 이는 와이어프레임 모델이 설계 개념을 잘 반영하고 설계 의도를 잘 나타낼 때가 많기 때문이다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 *SolidSet*은 0이상의 *SolidModel*로 구성되어 있다. 형상이 고려되지 않은 요소 객체를 생성할 수도 있고 하나의 요소 객체를 다수의 *SolidModel*로 표현할 수도 있으므로 요소 객체의 형상을 표현할 때 유연성이 뛰어나게 된다. *WireSet*도 *SolidSet*의 경우와 마찬가지로이다. *Form*의 속성으로는 자신이 표현하는 요소 객체 리스트와 *SolidSet*, *WireSet*, *FeatureDimension* 등 구성 클래스

스가 있다. 또한 *Form*에는 자신의 속성과 데이터를 관리하기 위한 메소드가 구현되어 있다. *Feature-Dimension*는 요소 객체의 형상 특징을 저장하기 위한 클래스이다. 대표적인 것으로 치수가 있으며, 형상의 치수로부터 설계 인자를 유도 하여 설계 과정에서 사용하며 설계 과정에서 설계 인자의 값이 변경되면 관련된 치수와 형상이 변하게 된다.

*Information*은 설계 과정에서 사용되는 다양한 정보를 저장하기 위한 클래스이다. 기존에는 객체에 대한 정보를 취급할 때 주로 *Function*과 *Behavior*를 고려 하였다. 그러나 기계 설계에는 이 외에도 다양한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 기계 설계 과정에서 필요한 정보를 표현하기 위해 *Information* 클래스를 사용 하였으며, 여기에는 *DesignParameter*, *EngMaterial*, *EngAnalysis*, *Relation*, *DesignFeature*, *Function*, *Behavior* 등의 구성 클래스가 있다. *DesignParameter*는 설계 인자를 저장하며, *EngMaterial*는 관련되는 설계 문서, 표준 규격, 기술 자료 등을 저장하고, *EngAnalysis*는 설계 과정에 필요한 공학 해석에 대한 데이터를 저장한다. *DesignFeature*는 자신의 설계 특징과 상대 부품에 대한 설계 특징을 나타내며, *Function*은 객체의 기능을 나타내고 *Behavior*는 입력과 출력 관계를 나타낸다.

Process 클래스는 설계 진행을 나타내는 것이다. 설계 과정을 저장하며 설계 목표를 표현하는 *Goal*을 구성 클래스로 하고 있다. 설계 목표를 나타내는 *Goal*은 설계 정보로 볼 수도 있으나 설계 진행에 큰 영향을 미치므로 *Process*의 구성 클래스로 하였다.

*Mail*은 설계 대상이 되는 제품의 구성 요소 객체 사이에 메일 시스템을 관리하기 위한 것이다. 메일 시스템은 요소 객체 사이에 구현 되지만 각 요소 객체는 *Team* 클래스에 담당 설계 팀과 설계자에 대한 정보를 저장하고 있으므로 메일 시스템이 설계자 사이에 구현된 것과 동일한 효과가 있다. *Mail*은 설계 과정에서 설계자 사이의 의사 교환을 원활히 하여 협동 설계를 돕는 것으로 수신, 발신, 삭제 메일 리스트를 저장하고 있다.

4. 통합 설계 시스템에 구현된 기능

본 연구에서 제안하는 통합 설계 시스템에는 3장에서 설명한 요소 객체의 자료 구조를 이용하여 설계 과정을 지원하기 위한 여러 가지 기능이 구현되어 있다.

4.1 설계 인자 설정

제안된 통합 설계 시스템에서는 설계 과정에서 사용되는 설계 인자를 설계자가 설정할 수 있다. 설계 인자의 데이터는 *DesignParameter* 클래스에 저장되며 다음과 같은 종류의 설계 인자를 사용할 수 있다.

- 불리언 (Boolean)
- 정수, 정수 범위, 등차 배열인 정수 범위, 정수 배열(integer, integer region, integer interval, integer array)
- 실수, 실수 범위, 등차 배열인 실수 범위, 실수 배열(real, real region, real interval, real array)
- 문자, 문자 배열(character, character array)
- 문자열, 문자열 배열(string, string array)

Table 1에는 *DesignParameter* 클래스에서 설계 인자를 사용하는 예가 나타나 있다. *DesignParameter* 클래스에는 Table 1의 첫번째 행에 나타난 바와 같이 *Parameter*, *Type*, *Value*, *NoOfArrayComp*, *Array*, *LowerValue*, *UpperValue*, *Increment*, *DataChange*, *Description*, *InducedEO*, *ParameterOfInducedEO*와 같은 속성이 있다.

*Parameter*는 설계 인자의 이름이며 *Type*은 설계 인자의 데이터 종류, *Value*는 설계 인자에 설정된 값이다. *NoOfArrayComp*는 설계 인자의 종류가 배열인 경우 구성 원소의 개수이며 *Array*는 이 때 설정된 배열 값을 나타낸다. *LowerValue*와 *UpperValue*는 설계 인자가 범위(range, interval)로 주어질 때, 주어진 범위의 최소값, 최대값을 나타내며, *Increment*는 설계 인자가 등차 배열인 범위(interval)로 주어질 때 증가분을 나타낸다. *DataChange*은 설계 인자의 값이 계산 도중 변경될 수 있는 지 여부를 나타내는 것으로 그 값이 F일 때는 설계 과정 중에 변경될 수 없는 설계 인자, 즉, 설계의 입력 인자가 되는 것을 의미하며, T일 때에는 변경될 수 있는 설계 인자, 즉, 설계 과정에서 정해야 할 인자를 의미한다. *Description*은 설계 인자에 대한 설명을 나타낸다. *InducedEO*는 이 설계 인자가 어떤 요소 객체의 설계 인자에서 파생되었는 지를 나타내며, *ParameterOfInducedEO*는 파생된 요소 객체에서의 *Parameter*, 즉 그곳에서의 설계 인자의 이름을 의미한다.

설계 인자의 데이터 종류에 따라 *DesignParameter*의 속성 중 필요한 것만 사용된다. Table 1에서는 데이터 종류에 따라 사용되지 않는 속성은 별표(*)로 표시하였다. 예를 들어 Table 1의 *a*는 정수 범위의 설계 인자이며, 이를 나타내기 위해 *DesignParameter*의 속성 중 *Parameter*, *Type*, *Value*, *Lower-*

Table 1. Examples of DesignParameter

Attributes		DesignParameter				
Parameter	a	b	m	i	l	
Type	integer region	integer region	real	real	real	
Value	21	74	5	3.5	237.5	
NoOfArray	Comp	*	*	*	*	
Array	*	*	*	*	*	
LowerValue	15	50	*	*	*	
UpperValue	30	100	*	*	*	
Increment	*	*	*	*	*	
DataChange	T	T	F	F	F	
Description	no. of teeth	no. of teeth	module	ratio	offset	
InducedEO	Input-Gear	Output-Gear	Input-Gear	Requi-remment	Requi-remment	
ParameterOf	InducedEO	Teeth	Teeth	Module	ratio	

Note:

1. The asterisk (*) means that data at the position is meaningless.
2. The value in parenthesis may be changed during design process.
3. F at the DataChange column means that the value of the parameter cannot be changed during design process, or the parameter is input data of the design. T means that the value can be changed during design process.

Value, UpperValue, DataChange, Description, InducedEO, ParameterOfInducedEO는 사용되며, NoOfArray-Comp, Array, Increment는 사용되지 않는다.

4.2 설계 목표 설정과 평가

설정된 설계 인자를 이용하여 설계 목표를 설정한다. 설계 목표에 대한 정보는 Goal 클래스에 저장되며 그 속성으로는 Table 2에서와 같이 GoalName, ObjectiveFn, TargetValue, Weight, Result가 있다. GoalName은 설계 목표의 이름이고, ObjectiveFn은 설계 인자로 표현된 목적 함수이다. TargetValue는 목적 함수의 목표값이며, Weight는 가중치이다. Result는 설계 인자의 값을 결정된 후 결정되는 목적 함수의 계산 결과이다. 요소 객체는 목표 함수를 여러 개 가질 수 있다. Table 2에 나타난 요소 객체는 n개의 목적 함수를 가지고 있다. 일반적으로 설계 목표는 Table 2에서와 같이 다목적 함수로 주어지며 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 설계 목표를 풀었다^[11].

Table 2. Attributes of Goal

GoalName	ObjectiveFn	Target Value	Weight	Result
GOL ₁	f ₁	T ₁	w ₁	R ₁
GOL ₂	f ₂	T ₂	w ₂	R ₂
...
GOL _n	f _n	T _n	w _n	R _n

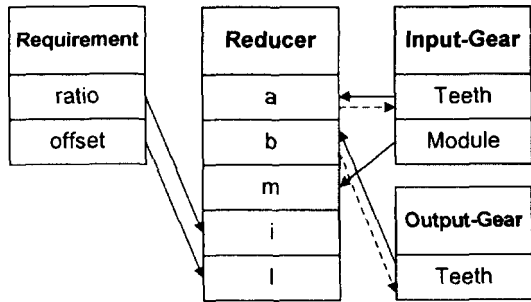
4.3 진화 설계 방법(Evolutionary design method)

본 연구에서 제안하는 통합 설계 시스템에서는 유전자 알고리즘^[12]을 이용한 최적화 설계 엔진을 구현하여 제품의 진화 설계^[13]를 지원한다. 최적화 도구로 유전자 알고리즘을 사용하는 이유는 본 연구에서는 설계가 진화한다고 가정하였고 이러한 특징이 유전자 알고리즘과 잘 일치하기 때문이다. 제안된 설계 시스템에서는 설계 인자를 요소 객체의 구성 클래스 DesignParameter에 설정하고, 설계 목표는 Goal에 설정한다. 이 때 다양한 데이터 형식의 설계 인자를 사용하고 목적 함수를 문자열로 표현^[16,17]할 수 있다.

4.4 요소 객체 사이의 제약 조건 구축

설계 인자를 설정하는 DesignParameter 클래스를 통해 요소 객체 간의 제약 조건이 구축된다. DesignParameter 클래스에는 Table 1의 InducedEO와 ParamOfInducedEO는 설계 인자가 어느 요소 객체의 설계 인자에서 파생 되었는지를 나타낸다. 이 속성을 추적 하면 요소 객체 간의 제약 조건 네트워크가 Fig. 2와 같이 구축된다.

Fig. 2에서 실선 화살표는 설계 인자가 파생된 경로를 나타낸다. Fig. 2에서 Requirement, Reducer, Input-Gear, Output-Gear는 요소 객체를 나타내며, 요소 객체 Reducer에는 다섯 개의 설계 인자가 있으며 a, b, m, i, l은 각 설계 인자의 이름(Table 1에서 Parameter)이다. 다른 요소 객체들도 자신의 설계



- Design parameters dependency
 ---> Design parameters propagation after optimization
1. Evolve the design goal of *Reducer* that is expressed by *a*, *b*, *m*, *i* and *l*, which determines the values of them.
 2. Propagate the determined values of design parameters if they are induced from other element objects.

Fig. 2. Constraint networks among element objects and constraint propagation.

인자를 가지고 있으며 이들 설계 인자는 서로 관계가 설정되어 있다. *Reducer*의 *a*와 *m*은 *Input-Gear*의 *Teeth*와 *Module*에서 파생되었고, *Reducer*의 *b*는 *Output-Gear*의 *Teeth*에서, *i*과 *l*은 각각 *Requirement*의 *ratio*와 *offset*에서 파생되었다. 이 때 *m*, *i*, *l*은 Table 1에서 *DataChange*의 값이 F이므로 입력 설계 인자가 되며 *a*, *b*는 T이므로 출력 설계 인자가 된다. 요소 객체 *Reducer*에서 설계 인자의 값이 결정 또는 변경되면 Fig. 2과 같이 제약 조건이 전파된다. *a*와 *b*는 값이 변경될 수 있으며, 변경된 값은 각각 *Input-Gear*의 *Teeth*와 *Output-Gear*의 *Teeth*로 전파되며 Fig. 2에서 점선 화살표로 나타나 있다. *m*, *i*, *l*은 값이 변경되지 못하므로 전파되지도 않는다.

4.5 설계 과정 저장과 재사용

Fig. 1에 나타난 시스템 관리자 중 *Process-Manager*는 설계 과정을 저장하고 이를 재사용할 수 있도록 한다. 여기에는 설계 과정에서 생성된 요소 객체를 저장 하는 속성, 최적화 계산을 수행한 요소 객체를 저장 하는 속성, 그리고 전체적인 설계 진행 정보를 나타내는 것으로 위의 두 속성에 관련된 정보 및 설계 인자의 생성, 삭제, 값 설정 등의 정보가 포함되어 있다. 이러한 정보는 설계가 구체화 되는 과정을 알 수 있게 한다.

4.6 입력 설계 인자와 출력 설계 인자 검색

통합 설계 시스템에서는 설계 인자 사이의 제약

조건을 기반으로 각 요소 객체 뿐 아니라 전체 제품의 입력 설계 인자와 출력 설계 인자를 검색할 수 있다. 이 기능은 본 연구에서 구현한 통합 설계 시스템을 각 부품 및 제품의 전용 설계 시스템처럼 이용할 수 있다. 예를 들어 Fig. 2에 나타난 *Reducer*와의 속성을 나타낸 Table 1을 살펴 보면, *Reducer*를 설계 하기 위한 입력 인자는 *m*, *i*, *l*이고, 출력 인자는 *a*, *b*이다.

4.7 표준 요소 객체

설계의 편의성을 위해 자주 사용되며 일반적으로 사용되는 기계 요소를 표준 요소 객체로 정의하여 사용한다. 본 논문에서는 축, 기어, 베어링을 표준 요소 객체로 정의하였다. 표준 요소 객체는 필요한 설계 인자를 미리 정의하고, 자주 사용되는 계산식을 내장하고 있어 설계를 효율적으로 진행할 수 있게 한다.

Table 3은 볼 베어링을 나타내는 표준 요소 객체인 *BallBearing*의 설계 인자와 내부 함수를 정의한 것이다. 미리 설정된 설계 변수에는 *Type*, *C*, *Co*, *LoadFactor*, *n*, *f_r*, *f_w*와 같이 입력 변수로 사용되는 것과 *P*, *Life*와 같이 계산 결과를 저장하는 출력 변수로 사용되는 것이 있다. *Calculate*는 볼 베어링의 수명을 계산하는 것으로, 입력 변수에 설정된 데이터를 이용하여 출력 변수의 값을 계산한다. 제안된 설계 시스템에서는 요소 객체를 조회하면 내장 함수가 표시되어 이를 선택함으로써 *Calculate*를 실행할 수 있다. 본 논문에서는 표준 요소 객체 *BallBearing*에는 Table 3에 제시된 간단한 계산 이외에도 여러 단계의 하중이 들어올 때 수명을 계산하는 것과 설계 대상이 되는 여러 베어링 중에서 설계 용량에 적합한 베어링을 선정하는 기능이 있다.

이렇게 자주 사용되고 계산이 많이 필요한 기계 요소를 표준 요소로 지정하여 설계 시스템에 설계 변수와 설계식을 구현함으로써 설계 시간을 단축하고 계산을 정확히 할 수 있다.

4.8 사용자 정의 표준 요소 객체: 표준 요소객체의 확장성

자주 사용되는 기계 요소를 표준 요소 객체로 선정하여 사용함으로써 설계 효율을 높일 수 있다는 것을 설명했다. 그래서 설계 시스템에서 기본적으로 제공하는 표준 요소 객체 이외에도 사용자가 자주 사용하는 요소 객체를 텍스트 파일로 정의함으로써, 사용자 정의 표준 요소 객체를 사용할 수 있게 하였

Table 3. Standard Element Object: *BallBearing*

DesignParameter's Built-in function	Type	Description
Type ¹⁾	string	bearing type
C ¹⁾	real	dynamic load rating
C ₀ ¹⁾	real	static load rating
LoadFactor ¹⁾	real	load factor
n ¹⁾	real	revolutional speed
f _r ¹⁾	real	radial force
f _a ¹⁾	real	axial force
P ²⁾	real	equivalent dynamic load
Life ²⁾	real	bearing life
Calculate ³⁾	void	calculate bearing life

¹⁾ Input design parameters

²⁾ Output design parameters

³⁾ Built-in function

다. 이는 표준 요소 객체의 확장성을 보여 준다. 예를 들면, Fig. 3은 축과 보스를 연결하는 키를 표준 요소 객체 Key로 만드는 파일의 내용이다. Fig. 3에서 설계 인자는 'DP:' 다음 줄에서 정의되며 내장 함수는 'Equation:'의 다음 줄에서 정의 된다. Table 1에서 제시된 속성 중 Parameter, Type, Value, NoOfArrayComp, Array, LowerValue, UpperValue, Increment, Description을 설정함으로써 정의된다. 설계 인자로 Type, Width, Height, UpperHeight, Length, Force, AllowShearStress, AllowContactStress, ShearSafeRatio, ContactSafeRatio가 정의 되었으며, CalShearSafeRatio, CalContactSafeRatio는 식 (1), (2)와 같이 전단 안전률과 접촉 면압 안전률을 계산하여 그 결과를 출력 설계 인자인 ShearSafeRatio, ContactSafeRatio에 설정하는 함수이다.

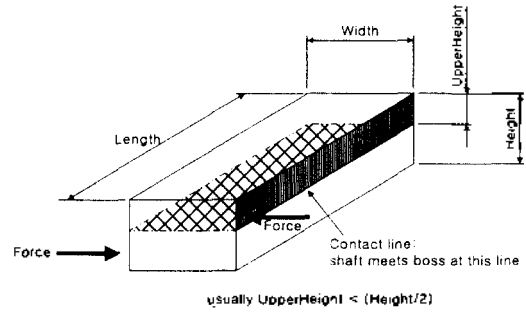
$$ShearSafeRatio = \frac{AllowShearStress}{\left(\frac{Force}{Width \times Length}\right)} \quad (1)$$

$$ContactSafeRatio = \frac{AllowContactStress}{\left(\frac{Force}{UpperHeight \times Length}\right)} \quad (2)$$

5. 통합 설계 시스템 구현

본 연구에서 사용한 통합 설계 시스템의 구성으로 다음의 두 가지가 고려 되었다.

- (1) 기존 CAD 시스템을 확장 시켜 통합 설계 시스템을 구현 하는 방법
- (2) 기존 CAD 시스템을 이용 하여 통합 설계 시



```
Name:
Key
DP:
Type:string, NULL,0,0,0,type
DP:
Width,double,0,0,0,0,width
DP:
Height,double,0,0,0,0,height
DP:
UpperHeight,double,0,0,0,0,upper height
DP:
Length,double,0,0,0,0,length
DP:
Force,double,0,0,0,0,force
DP:
AllowShearStress,double,0,0,0,0,allowable shear stress
DP:
AllowContactStress,double,0,0,0,0,allowable contact stress
DP:
ShearSafeRatio,double,0,0,0,0,safe ratio by shear stress
DP:
ContactSafeRatio,double,0,0,0,0,safe ratio by contact stress
Equation:
CalShearSafeRatio,ShearSafeRatio,AllowShearStress/(Force/(Width*Length))
Equation
CalContactSafeRatio,ContactSafeRatio,AllowContactStress/
(Force/(UpperHeight*Length))
```

Fig. 3. External text file expressing Key as standard EO.

시스템을 구현 하는 방법

본 연구에서 사용한 요소 객체 자료 구조는 (1), (2) 방법을 모두 지원할 수 있다. (1)의 방법은 통합된 시스템에서 작업하기 때문에 설계 진행을 일관되게 할 수 있고 설계 데이터도 일관되게 관리 할 수 있는 장점이 있고 (2)의 방법은 다양한 상용 CAD 시스템을 형상 설계 진행 시스템으로 이용할 수 있어 다양한 상용 CAD 시스템을 이용할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 다양한 상용 CAD 시스템을 사용할 수 있는 (2)의 방법을 사용하였다.

설계 시스템은 Windows NT Workstation 4.0를 장착한 펜티엄 200에서 구현 되었으며, Microsoft 사의 Visual C++ 5.0을 사용하여 구현 하였다. 본 연구에서 제안하는 통합 설계 시스템을 DHII(Design History, Information and Intent)라고 하며 시스템의 구성은 Fig. 4와 같다. GUI는 Visual C++의 MFC 함수를 이용하여 구축하였으며 형상 설계 진행 시

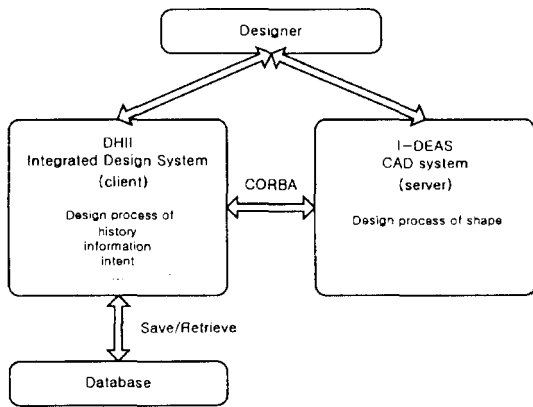


Fig. 4. Structure of integrated design system.

템으로는 SDRC사의 I-DEAS Master Series 6.0을 사용 하였다. I-DEAS와 DHII 사이의 통신은 I-DEAS의 API인 OpenI-DEAS를 이용하였으며, 이는 CORBA를 사용하여 구축된 API이다.

DHII는 I-DEAS로부터 와이어프레임 모델(Fig. 1에서 WireSet, WireModel 클래스의 속성)과 솔리드 모델(SolidSet, SolidModel 클래스의 속성), 치수(FeatureDimension의 속성)에 관련된 데이터를 받아 저장한다. 설계가 진행됨에 따라 설계 인자가 변경 될 때, 이 설계 인자가 I-DEAS의 치수를 나타내는 것이라면 I-DEAS의 형상이 자동적으로 변하게 된다.

6. 적용 예제

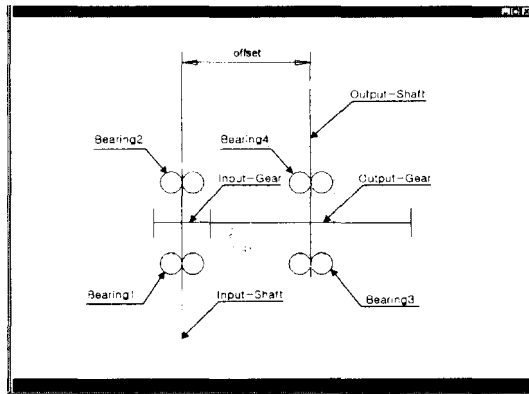
본 논문에서 제한한 설계 시스템을 이용하여 전형적인 기계 설계 문제인 감속기 설계에 적용하였다.

6.1 감속기 모델링

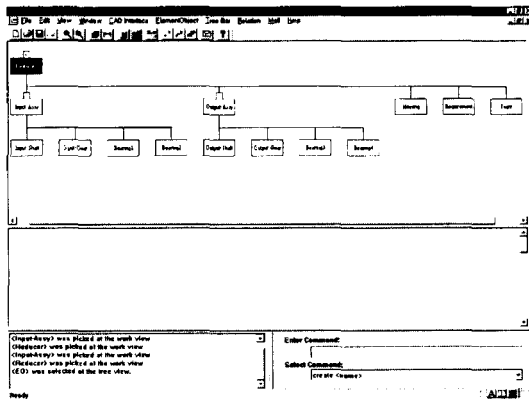
Fig. 5(a)는 형상 프로세서로 사용되는 I-DEAS에서 1 단 감속기를 와이어프레임 모델로 모델링 한 것이고 Fig. 5(b)는 정보 프로세서인 DHII에서 설계할 요소 객체를 모델링한 것이다. Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)는 하나의 화면 상에 두 개의 윈도우로 나타나며 사용자는 두 개의 윈도우 사이를 자유자재로 이동하며 작업하도록 되어 있다.

Fig. 5(b)에서는 최상위 요소로 Reducer가 있으며, 이의 하위 객체로 Input-Assy, Output-Assy, Housing, Requirement, Team이 있다. Input-Assy는 입력축계를 나타내는 것으로 하위 요소 객체로 Input-Shaft와 Input-Gear, Bearing1, Bearing2가 있다.

Output-Assy는 출력축계를 나타내는 것으로 하위



(a)



(b)

Fig. 5. Modeling reducer using I-DEAS and DHII (a) Layout by I-DEAS(b) Modeling by DHII.

요소 객체로 Output-Shaft와 Output-Gear, Bearing3, Bearing4가 있다. Requirement와 Team은 각각 설계 요구 조건과 설계 팀에 대한 정보를 저장하기 위한 요소 객체이다. 정보 프로세서인 DHII에서 요소 객체를 모델링하는 방법은 설계자가 임의로 정한다.

6.2 설계 인자 설정

Fig. 6은 요소 객체 Requirement에 감속기의 설계 요구 조건으로 감속비 3.5, 입력축과 출력축 간의 거리 237.5 mm, 전달 동력 10 kW, 입력 회전수 500 rpm을 입력 시킨다.

Fig. 7은 주어진 설계 요구 조건을 만족시키는 최상위 요소인 Reducer에서 기어비 설계를 하는 과정을 보여 준다. 여기에서 기어비 설계를 하기 위한 요소 객체로 Reducer를 선택하는 것은 설계자가 임의로 선택한 것이다. Reducer에는 설계 인자로 a, b, m, i, l이 설정되어 있다. 입력 인자로 m, i, l이 설

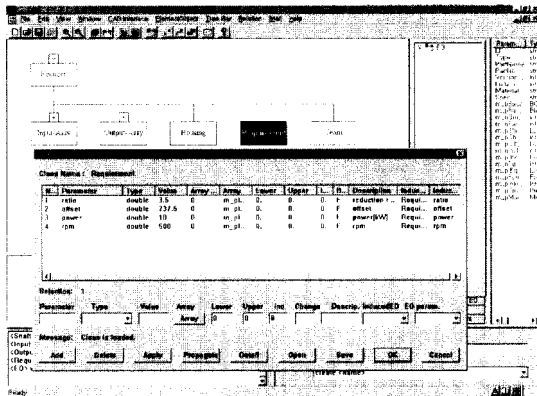


Fig. 6. Setting design requirement at Requirement.

정되었으며(DataChange가 F), 출력 인자로 a , b 가 설정되었음을(DataChange가 T) 알 수 있다. u 는 Input-Gear의 잇수로[15,30] 사이의 정수이며 m 은 Input-Gear의 모듈로 5이며 b 는 Output-Gear의 잇수로[50,100] 사이의 정수이다. Input-Gear와 Output-Gear은 모듈이 같으므로 어느 쪽에서 m 을 유도해도 되나 여기에서는 임의로 Input-Gear에서 유도 하였다. i 와 l 은 설계 요구 조건을 나타내는 Requirement로부터 유도된 설계 인자이며 i 는 감속 비로 3.5, l 은 음셋으로 237.5 mm이다.

6.3 설계 목표 설정

Fig. 7에서 설정한 설계 인자를 사용하여 설계 요구 조건으로 주어진 감속비와 음셋을 만족시키는 기어 잇수를 설계한다. 이 과정은 식 (3), (4)를 만족 시켜야 한다.

$$i = \frac{b}{a} \tag{3}$$

$$l = \frac{m \times (a+b)}{2} \tag{4}$$

Fig. 8은 설계 목표를 설정하는 화면이다. 상단부

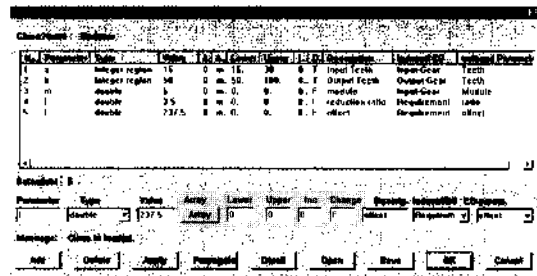


Fig. 7. Setting design parameters of Reducer.

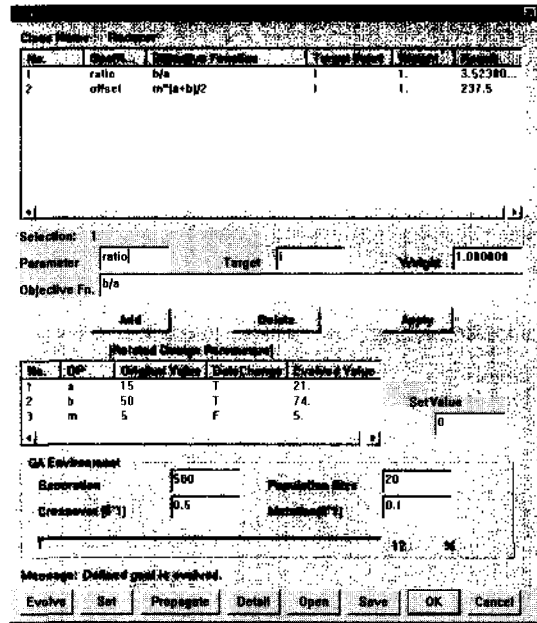
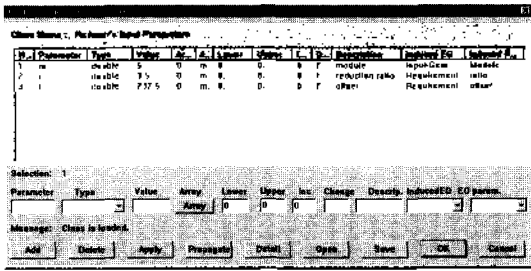


Fig. 8. Design goal constructed in Reducer.

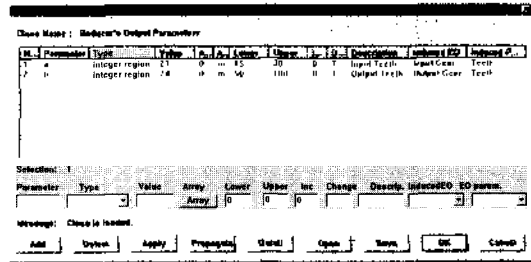
컨트롤 리스트에는 식 (3)과 (4)를 목적 함수로 표현 하였다. 중간 부분에 있는 컨트롤 리스트에는 목적 함수를 구축하는 데 사용된 설계 인자들이 나타나 있다. 하단부의 컨트롤 리스트에는 유전자 알고리즘에 사용되는 환경 변수인 세대수, 개체 집단 크기, 교배 확률, 돌연 변이 확률이 나타나 있다. Fig. 8에는 세대수가 500개체 집단 크기가 20교배 확률이 50%, 돌연 변이 확률이 10%로 나타나 있다. 하단의 탭 중 Evolve를 누르면 최적화 계산이 수행되어 중간 부분의 설계 인자의 값이 a 는 21로 b 는 74로 결정된다. 이는 감속비가 3.5238로 목표값과 0.7% 정도의 차이가 있으며, 음셋 237.5가 되게 하는 값으로 좋은 결과를 보여 준다. 하단부의 탭 중 Propagate를 누르면 a 와 b 에 계산된 값 21과 74이 설정되고 a 의 값은 Input-Gear에, b 의 값은 Output-Gear로 전파된다. 이때 Reducer는 Input-Gear와 Output-Gear에게 각각 a , b 가 변경되었다는 메일을 보낸다.

6.4 시스템에서 제공하는 설계 지원 기능

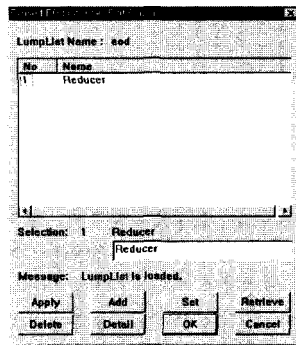
Fig. 9는 관련 정보를 조회하는 화면이다. Fig. 9(a)는 Reducer에 설정된 입력 설계 인자를 보여 주는 화면이고, Fig. 9(b)는 출력 설계 인자를 보여 준다. Fig. 9(c)는 설계 목표를 계산한 요소 객체 리스트를 보여 주는데 현재는 Reducer가 계산되었으며 Fig. 9(d)는 Reducer가 Input-Gear와 Output-Gear



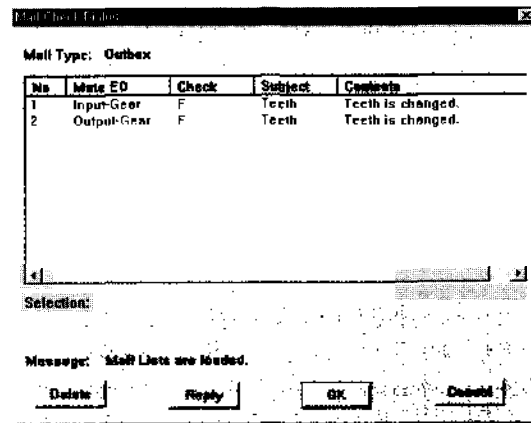
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 9. Results from the design system (a) Input parameters of Reducer(b) Output parameters of Reducer(c) Evolution history of Reducer(d) Mails sent from Reducer.

에 보낸 메일을 보여 준다. 여기에서 Reducer를 선택하면 Fig. 8의 화면이 나오게 되어 다시 진화 설계 작업을 할 수 있다.

6.5 기어 설계

Fig. 8에서 Input-Gear와 Output-Gear의 잇수가 결정되므로 기어의 강도 계산, 축의 강도 계산으로 설계를 구체화 시킨다. 기어는 표준 요소 객체이며 내부 함수로 기어 치형 계산, 기어 강도 설계 등이 구현되어 있다. 위에서 결정된 기어의 모듈과 잇수, 전달 동력, 회전수를 입력 시키고 내부 함수를 활성화 시키면 기어 치형과 강도 계산을 한다. Fig. 10의 형상과 관련된 인자로 피치원 지름과 치폭이 계산된다. 여기에서는 Input-Gear의 피치원 지름이 105 mm, 치폭이 55 mm, Output-Gear의 피치원 지름이 370 mm, 치폭은 역시 55 mm로 계산되었다. 이 때 Fig. 10에서 피치원 지름과 치폭을 나타내는 치수를 설계 인자로 설정하여 사용하면 설계 인자의 값이 설정되면 Fig. 10에서와 같이 I-DEAS에서의 형상이 변경된다.

6.6 축 설계

기어의 강도 계산을 하는 과정에 전달 동력과 회전수와 관계에서 작용하는 토크가 계산되어 Input-Gear와 Output-Gear의 설계 인자인 Torque에 전달 된다. 이 설계 인자에 설정된 값은 Input-Shaft와 Output-Shaft로 전달된다. Input-Shaft와 Output-Shaft에는 주어진 토크를 견디는 최소 지름을 계산하는 내부 함수가 있으며 이를 이용하여 축의 최소 지름을 계산 한다. Fig. 10에서와 같이 Input-Shaft의 최소 지름은 40 mm, Output-Shaft의 최소 지름은

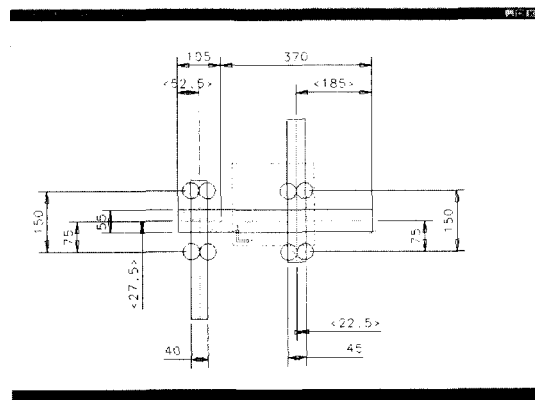


Fig. 10. Reducer reflecting embodiment design.

45 mm로 계산되었다. 이전과 같이 지름을 나타내는 치수를 설계 인자로 설정하여 사용하여 설계 인자의 값이 변경되면 Fig. 10의 형상이 변한다.

6.7 베어링 설계

베어링도 표준 요소 객체로 구현되어 있어 기어와 축 설계에서와 유사하게 설계 된다. 기어와 축 설계 과정에서 베어링 설계에 필요한 하중이 계산되므로, 사용할 베어링에 대한 정정적 하중 계수와 동정적 하중 계수를 설정하면 된다. *Input-Shaft*에 조립되는 *Bearing1*, *Bearing2*에는 내경이 50 mm인 깊은 홈 볼 베어링 6310이 선정되었다. 이 때 *Bearing1*과 *Bearing2*의 구성 객체 중 *EngMaterial*에 볼 베어링에 대한 자료를 비트맵 그림 파일인 6310.bmp로 만들어 저장시키면 이후 상에 설계에 유용하게 사용할 수 있다. Fig. 11은 필요한 경우 *Bearing1* 또는 *Bearing2*에 저장되어 있는 6310.bmp의 내용을 조회하는 화면을 보여 준다. 물론 앞에서 설명된 바와 같이 설계 인자를 이용하여 6310.bmp의 데이터를 설정할 수도 있으나 Fig. 11과 같이 그림 파일 또는 문서 파일로 설계 자료를 저장시키면 편할 때가 많다. 설계 자료를 저장시키는 방법을 선택하는 것 역시 설계자가 결정한다.

본 논문의 실용성을 보기 위해 내우중공업(주)에서 개발하고 있는 2톤급 지게차의 변속기를 제안한 시스템으로 설계하였다. 이 설계를 위해 103 개의 요소 객체를 사용하였으며 Fig. 12는 I-DEAS에서 모델링된 최종 형상이다. Fig. 12에 나타난 모든 치수는 해당 요소 객체의 설계 인자와 연결되어 있어 설계 인자의 값이 결정되면 형상도 자동적으로 변하게 된다. 이 설계 과정은 예제로 설명한 감속기의 설계

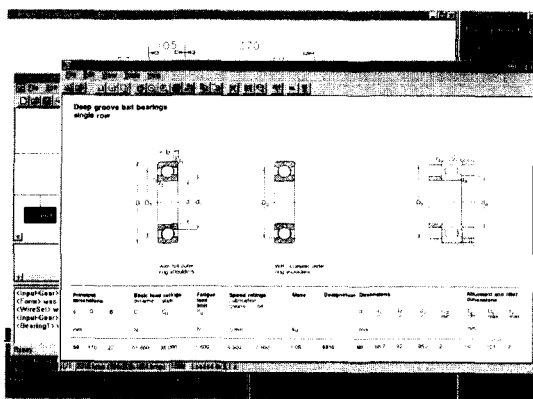


Fig. 11. Retrieving the bearing data saved at 6310.bmp.

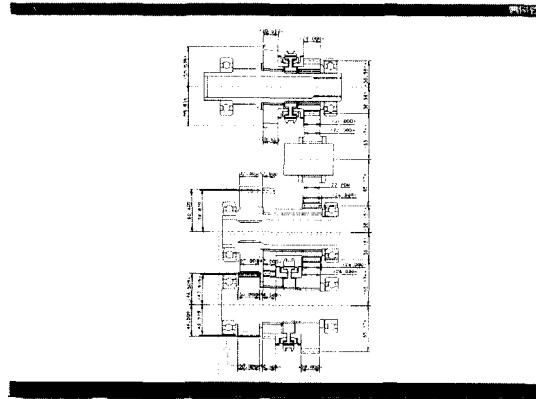


Fig. 12. Design of a folk lift transmission.

과정과 유사하게 기어 설계, 축 설계, 베어링 설계 과정을 거치나 훨씬 복잡하게 진행되며 제안한 시스템으로 설계가 가능하였다.

7. 결 론

본 논문에서는 다양한 정보를 다루는 기계 설계 분야에서, 실제 과정 중에 제품의 형상을 표현할 수 있으며 공학 해석 및 정보를 저장할 수 있는 통합 설계 시스템을 제안 하였다. 이 통합 설계 시스템에는 다음과 같은 특징이 있다.

요소 객체란 개념을 이용해 설계 지식과 정보, 형상을 함께 저장하고 이용하는 설계 시스템을 구현하였으며 설계 과정을 효과적으로 지원할 수 있게 하였다. 각각의 요소 객체에는 설계 인자와 설계 목표를 설정할 수 있으며 설계 시스템에 구축된 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 엔진을 이용하여 설계 목표를 달성할 수 있도록 하였다. 이 때 설계 인자 간의 제약 조건을 파악할 수 있어 설계에 큰 영향을 미치는 부품과 설계 인자를 쉽게 알 수 있다. 그리고 모든 부품은 관련 부품과 상관 관계가 구축되어 설계가 진행되기 때문에 한 부품이 변경되었을 때 관련 부품에게 이를 통지하여 설계 변경 시 관련 부품이 변경되지 않는 실수가 방지된다. 이러한 기능을 이용하여 협동 설계(collaborative design)가 되는 통합 설계 시스템을 구현 하였다. 본 연구에서 제안한 통합 설계 시스템의 기능을 실제 산업계에서 개발하고 있는 지게차의 변속기에 적용하여 그 실용성을 보였다.

앞으로 본 논문에서 설명한 내용의 발전된 내용으로 설계 이력을 저장하고 사용하는 방법, 구축된 설계 데이터를 재설계에 이용하는 방법 등에 대한 연

구가 보완되어야 할 것이다.

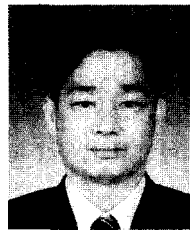
후 기

I-DEAS Master Series 6.0을 지원해 준 SDRC Korea에 감사 드린다.

참고문헌

1. 이강수, 이진우, "설계 과정과 설계 정보, 설계 의도를 모델링하기 위한 프레임워크", 한국 정밀 공학회 1998년도 추계학술대회, pp. 841-846, November, 1998.
2. Kirshman, C.F., Fadel, G.M. and Jara-Almonte, C.C., "Classifying Functions for Mechanical Design", *Proceedings of the 8th ASME International Conference on Design Theory and Methodology*, 96-DETC/DTM-1504, Irvine, California, August, 1996.
3. 홍진웅, "기계 제품의 하향식 기능 설계 및 설계 과정 모델링을 지원하는 CAD 시스템 프레임워크의 구축", 박사학위 논문, 서울대학교 기계설계학과, 1999.
4. Ramachandran, N., Shah, A. and Langrana, N. A., "Expert System Approach in Design of Mechanical Component", *Engineering with Computers 4*, Springer-Verlag New York Inc., pp. 185-195, 1988.
5. Gero, J. S. and Kazakov, V., "Evolving design genes in space layout problems", *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 163-171, 1998.
6. Gero, J. S., Kazakov, V. and Schnier, T., "Genetic engineering and design problems", in Dasgupta, D. and Michalewicz, Z. (eds.), *Evolutionary Algorithms in Engineering Applications*, Springer Verlag, Berlin, pp. 47-68, 1997.
7. Horvath, L., Rudas, I.J. and Varga, T., "Some Possibilities for Including Knowledge into Models of Mechanical Parts", *INES97. 1997 IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems Proceedings*, pp. 527-532, Budapest, Hungary, September 15-17, 1997.
8. Medhi, K. and Play, D., "An Integrated Process for Gearbox Design", *Proceedings of the Computers in Engineering Conference and the Engineering Database Symposium*, ASME, pp. 841-850, January, 1995.
9. Wallace, D.R., Jakiela, M.J. and Flowers, W.C., "Design search under probabilistic specifications using genetic algorithms", *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 5, pp. 405-421, 1996.
10. Pahng, F., Senin, N. and Wallace, D., "Distribution modeling and evaluation of product design problems", *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 6, pp. 411-423, 1998.
11. Wong, A. and Sriram, D., "SHARED: An Information Model for Cooperative Product Development", *Research in Engineering Design*, Vol. 5, No. 1, pp. 21-39, 1993.
12. Gorti, S.R., Gupta, A., Kim, G.J., Sriram, R.D. and Wong, A., "An Object-Oriented Representation for Product and Design Process", *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 7, pp. 489-501, 1998.
13. Olsen, G.R., Cutkosky, M., Tenenbaum, J.M. and Gruber, T.R., "Collaborative Engineering based on Knowledge Sharing Agreements", *Proceedings of the 1994 ASME Database Symposium*, Minneapolis, MN., September 11-14, 1994. [Http://cdr.stanford.edu/CDR/publications.html](http://cdr.stanford.edu/CDR/publications.html).
14. Park, H., Lee, S.H. and Cutkosky, M.R., "Computational Support for Concurrent Engineering of Cable Harnesses", *Proceedings of the Computers in Engineering Conference*, San Francisco, 1992. [Http://cdr.stanford.edu/CDR/publications.html](http://cdr.stanford.edu/CDR/publications.html).
15. Rumbaugh, J., Blaha, M. and Premerlani, W., Eddy, F. and Lorensen, W., *Object-Oriented Modeling And Design*, Prentice-Hall, 1991.
16. 이강수, "설계 이력과 설계 정보 및 의도를 수용하는 통합 설계 시스템의 개발", 박사학위 논문, 서울대학교 기계설계학과, 1999.
17. Wall, M. and Matthew's Galib: A C++ Library for Genetic Algorithm Components, 1996. [Http://www.lancet.mit.edu/ga/](http://www.lancet.mit.edu/ga/)
18. Lee, K., "Required Features of CAD Systems as a Real Design Tool", *Sixth IFIP WG 5.2 International Workshop on Geometric Modeling: Fundamentals and Applications (GEO-6)*, pp. 199-212, Tokyo, Japan, December 7-9, 1998.

이 강 수



1987년 서울대학교 기계설계학과 학사
 1989년 서울대학교 기계설계학과 석사
 1999년 서울대학교 기계설계학과 박사
 1998년 건설기계기술사
 1989년-현재 대우중공업(주) 중앙연구소 선임연구원
 관심분야: Geometric Modeling, Intelligent CAD, Design Methodology, Virtual Prototyping, PDM

이 진 우



1978년 서울대학교 기계공학과 학사
 1981년 미국 MIT 공학석사
 1984년 미국 MIT 공학박사
 1984년-1986년 Univ. of Illinois at Urbana-champaign 조교수
 1986년-현재 서울대학교 기계항공공학부 교수 및 정밀기계설계공동연구소 연구부장
 관심분야: Computer aided geometric modeling, Rapid prototyping & tooling, Virtual design & prototyping, CAD systems for injection mold, Custom-made shoe design