

편집 설계 방법을 이용한 고체 추진제 형상 설계 자동화 프로그램 개발

김보현*, 이강수**, 양준서***, 이도형***, 오석진***, 권혁선****, 김성환*****

Development of a Solid Fuel Design Automation Program Using Configuration Design Method

Bo-Hyun Kim*, Kang-Soo Lee**, Joon Seo Yang***, Do Hyeong Lee***, Seok Jin Oh***
Hyuk-Sun Kwon**** and Sung Hwan Kim*****

ABSTRACT

We developed a design automation system to reduce the lead time and help engineers in designing a solid fuel, or a grain, for rocket missiles. First, we analyzed design activities and shapes of a grain, which resulted in the standard of design process and shape. We decided development process which consisted of two typical activities such as constructing master library and implementing design system. We constructed some master models for typical external shapes and core shapes of grains which were used in modeling the shape of a designing grain. Also we implemented a design automation program to use the master models according to the pre-defined design process. It can calculate some design parameters such as mass, mass center, volume and combustion area that are used in analyzing a proposed grain. Finally, we could reduce the design time dramatically and increase design quality by automating many routine and difficult works.

Key words : API (Application Programming Interface), Parametric Design, Grain, Solid Fuel, Design Automation

1. 서 론

오늘날 제품 개발에서 중요한 사항 중 좋은 품질과 경쟁사보다 빠른 제품 개발이 강조된다. 시장의 빠른 변화와 요구사항의 다양화에 맞추기 위해 기업은 치열한 경쟁을 하고 있으며, 급변하는 시장의 요구를 만족시키고 경쟁력을 높이기 위해서 제품의 품질 향상은 물론 제품 개발 기간을 줄이는 것에 주력하고 있다^[1]. 제품 개발 기간 단축은 단지 기간 단축뿐만 아니라 기간 단축에 따른 개발 비용 절감 효과와 빠른 제품 출

시로 시장에서의 경쟁력 확보의 효과를 갖게 한다. 기업들은 제품 설계의 품질 향상과 개발 기간 단축을 위해 설계 자동화(design automation)의 필요성이 부각되고 있다.

로켓이나 미사일 등의 연료로 사용되는 그레인(grain) 또한 이러한 특정 제품으로 분류할 수 있다. 그레인 형상의 기존 설계 방식은 설계자의 경험에 의해 결정된 비교적 단순한 그레인의 대표 형상 1~3가지 정도를 설계하고 각 형상의 변화 과정을 반복적으로 모델링하고 그 과정에서 발생하는 특성 값의 변화를 기록한 후 그 데이터를 비교 분석하여 최종 형상을 결정하는 방식으로, 설계자의 단순 반복작업과 과도한 설계 시간 발생의 문제점이 발생한다.

본 연구에서는 로켓이나 미사일 등의 성능을 결정하는 고체 추진제인 그레인(grain)을 효율적으로 설계할 수 있는 프로그램을 상용 CAD 시스템인 I-DEAS를 기반으로 개발하였다.

*국립한밭대학교 기계공학부

**교신저자, 국립한밭대학교 기계공학부

***국방과학연구소

****㈜에이다솔루션

*****서울산업대학교 기계설계자동화공학부

- 논문투고일: 2008. 04. 01

- 논문수정일: 2008. 08. 07

- 심사완료일: 2008. 08. 07

설계 자동화 프로그램의 개발 목표는 다음과 같다. 설계자의 단순 반복 작업을 자동화하여 설계 시간을 단축시키고, 마스터 모델을 쉽게 조합하여 다양한 그레인 형상을 설계할 수 있도록 하며, 생성된 형상을 분석하여 최적의 성능을 가진 그레인 형상을 설계할 수 있도록 개발한다. 그리고 설계 자동화 프로그램 개발은 편집 설계 방식을 활용할 수 있도록 다음과 같은 과정으로 개발되었다. 먼저, 그레인의 설계 활동 및 대표 형상을 표준화하고, 분류된 형상을 파라메트릭 기법으로 마스터 모델을 구축하였다. 그리고, 구축된 마스터 모델을 이용하여 그레인의 형상을 설계한 후 그레인이 연소하는 과정에서 형상 변화와 설계 특성값의 변화를 검토하여 그레인 최종 형상을 설계하도록 설계 시스템을 개발하였다.

2. 관련 연구

특정 기업에서 필요로 하는 전문화된 제품 설계를 위한 기능은 기존 상용 CAD 시스템에서는 잘 지원되지 않으므로 이를 해결하기 위하여 대기업의 경우 CAD 프로그램에서 제공하는 API(Application Programming Interface)를 이용하여 자체적인 프로그램을 개발하여 사용하기도 한다^{2,3}. 대표적인 예로 GM사의 경우 자사가 필요로 하는 기능을 NX 툴 기반으로 하는 API인 NX Open을 이용하여 GM tool-kit이라는 프로그램을 개발하여 설계에 사용하고 있으며, 포드 자동차 역시 I-DEAS를 기반으로 하는 API인 Open I-DEAS를 이용하여 C3P라는 프로그램을 개발하여 설계에 사용하고 있다. 반면 중소기업의 경우 자체적인 프로그램 개발이 어려우며, 이를 해소하기 위하여 개발이 다소 편리하고 안정적인 특징 형상을 기반으로 한 보델링(feature based modeling)방법과 매개변수를 이용한 보델링(parametric modeling)방법이 현재 가장 많이 사용되고 있다^{4,5,6,7,8,9}. 이와 같이 특정 제품을 설계할 때 편의성을 제공하기 위하여, 해당 제품 개발 업체에서 자체적으로 범용 CAD를 기반으로 전문적인 설계 지식과 경험을 포함하는 프로그램을 개발하여 사용하고 있다^{5,7,8,9,10}.

최근에는 상용 CAD 시스템과 상용 CAE 시스템을 통합하여 제품 설계 시스템을 구현하기도 한다^{11,12,13}. 또한 CAD 시스템과 CAE 시스템을 통합하는 과정에 설계 최적화 시스템을 이용하는 경우도 있다¹⁴. 로켓 설계에 설계 자동화 시스템을 이용하는 경우도 발표되었으며¹⁵, 이는 I-DEAS를 CAD 및 CAE 시스템으로 활용하여 로켓 구조체 설계 자동화 시스템을 개발한

것이다.

본 연구에서는 구조체 내부에 들어가는 고체 연료의 설계 자동화 시스템으로 설계 대상 제품이 달라짐으로써 자동화 시스템의 구조가 달라졌다.

이와 같이 설계 자동화 시스템은 실제 제품을 생산하는 기업에서 설계 제품의 경쟁력을 높이고자 지속적으로 추진하고 있으며, 설계 대상에 따라 개발하려는 설계 자동화 시스템의 개발 방법과 구조가 달라진다.

3. 그레인 설계 자동화 시스템 개발 과정

Fig. 1은 그레인 설계 자동화 시스템의 개발 과정을 나타내며, 이는 CAD 시스템을 사용하는 설계 시스템을 개발할 때 적용되는 일반적인 개발 과정이다. 개발 과정은 CAD 모델을 생성하여 마스터 라이브러리를 구축하는 과정과 설계식 및 설계 지식을 반영하고 이를 구축된 CAD 모델에 반영하는 설계 시스템을 개발하는 2개의 과정으로 개발이 진행된다. 이후 제4장에서는 마스터 라이브러리를 구축하는 과정을, 제5장에서는 개발된 설계 시스템을 사용하는 과정을, 그리고 제6장에서는 이를 사용한 효과를 설명하겠다.

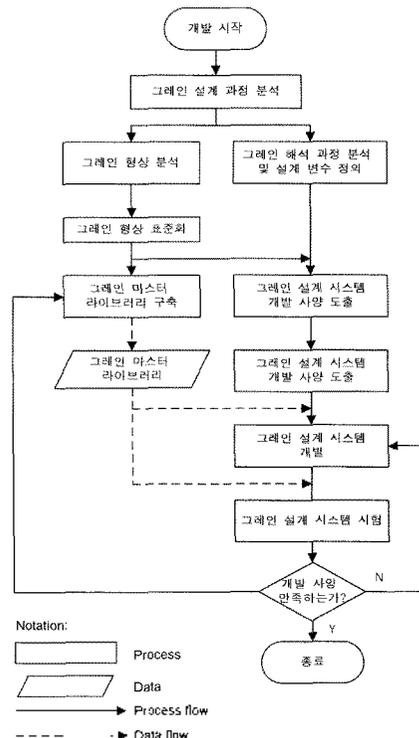


Fig. 1. Development process of the proposed design system.

4. 마스터 라이브러리(master library) 구축

4.1 그레인(grain)

로켓 추진제 중 고체 연료를 그레인이라 부른다. 그레인의 기하학적 형상은 로켓성능에 크게 영향을 미치기 때문에 미리 정확한 해석을 수행한 후 추진제 형태를 결정한다. 즉, 그레인의 추력 특성은 로켓의 사용 목적에 맞게 시간에 따라 추력이 증가, 감소 또는 일정하게 설계되어야 한다^[4].

고체 추진기관은 연료와 산화제를 혼합한 고체 추진제를 사용하며, 액체 추진기관에 비해 빠른 초기속도, 무게 경량화, 장기 보관 및 취급 용이 등 많은 장점이 있기 때문에 대부분의 군사용 유도탄에는 고체 추진기관을 사용하고 있다^[4].

Fig. 2는 고체 추진 기관의 구성품을 나타내고 있다. 고체 추진 기관은 크게 외관을 형성하는 모터 케이스와 노즐, 내부 추진제인 그레인, 질연체 및 점화기로 구성되어 있다. Fig. 2에서 빗금친 부분이 그레인을 나타내며, 'Grain(Core부)'로 표시된 부분은 그레인의 내부의 빈 공간을 지칭한다.

4.2 그레인 형상 분석

설계 자동화를 구현하기 위하여 우선 개발 대상인

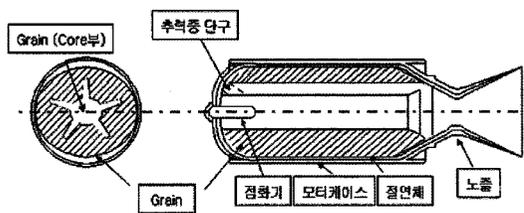


Fig. 2. Components of a rocket motor.

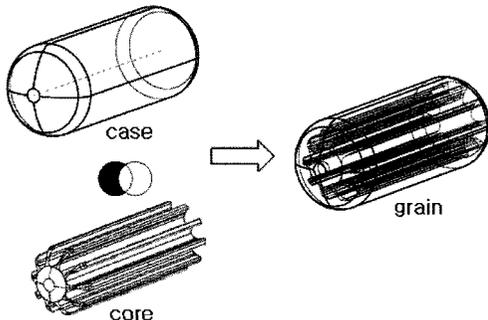


Fig. 3. The shape of grain is generated by subtracting core from case.

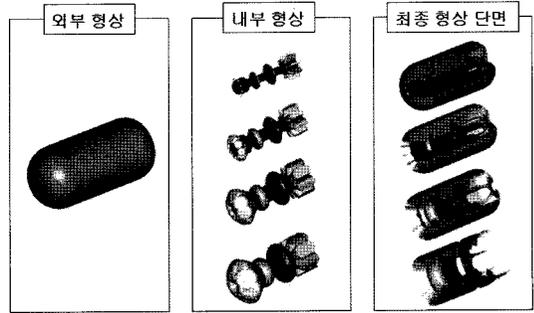


Fig. 4. The shape of grain will change as combustion proceeds.

그레인 형상에 대한 표준화를 정의하였으며, 표준화 작업을 위하여 다양한 그레인 형상을 분석하였다. 형상을 분석한 결과 Fig. 3과 같이 그레인 형상을 케이스(case)와 코어(core) 형상으로 분류하였다. 케이스는 연소관의 내부 형상으로부터 결정되는 형상으로 그레인 외부형상이나 그레인 설계시 동상 케이스라 부르며, 코어 형상은 내부 연소형의 성능을 결정하는 형상이다.

본 연구에서는 케이스 형상과 코어 형상을 분류하고 케이스 형상에서 코어 형상의 불륨을 제거하여 최종 그레인 형상을 정의하는 방식을 택하였다. Fig. 3에서 그레인의 외부 형상인 케이스에서 코어를 뺀으로써 최종 형상인 그레인 형상이 생성됨을 알 수 있다.

Fig. 4는 연소과정에서 그레인 형상 변화를 보여준다. 이 그림은 내부 연소만 이루어 지고 있는 그림으로, 연소가 진행됨에 따라 내부 코어 부분이 연소되어 감을 알 수 있다. 개발된 설계 시스템은 Fig. 4에 나타난 연소 과정에서 추진 특성을 해석할 수 있는 특성 값을 설계자에게 제공한다.

4.3 케이스(case) 형상 정의

케이스의 경우 연소관의 내부 형상으로부터 그 형상이 결정되므로 가장 많이 사용되는 연소관 형상으로부터 케이스의 대표 형상을 Fig. 5와 같이 5개로 정의하고 정의된 형상을 마스터 모델로 구축하였다. 또한 대표 형상으로 정의 되지 않은 특수한 형상의 경우 연소관의 단면정보를 위치 데이터로 추출하고, 추출된 정보를 이용하여 Fig. 5의 'User Define' 기능으로 케이스 형상을 설계 할 수 있도록 하였다.

4.4 코어(core) 형상 정의

코어 형상은 마스터 라이브러리에 저장된 마스터 모델을 조합하여 생성되며, 크게 단일 형상, 복합 형

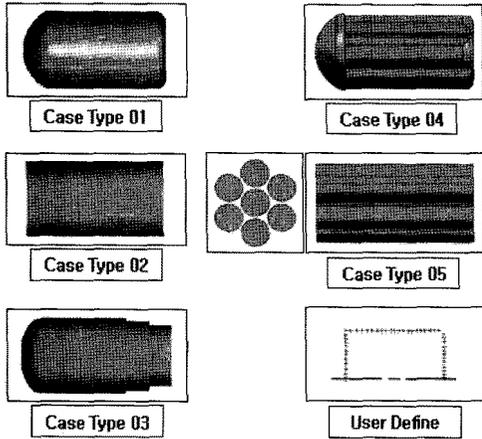


Fig. 5. Typical shapes of cases.

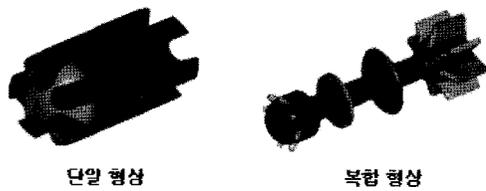


Fig. 6. The shapes of cores can be divided into two groups - simple and complex cores.

상으로 분류하였다. 코어 형상을 표현하기 위하여 하나의 마스터 모델을 사용할 경우 단일 형상이라 정의하였고, 두 가지 이상의 마스터 모델을 사용할 경우 복합 형상이라 정의하였다. Fig. 6은 단일 형상 코어와 복합 형상 코어의 한 예를 보여준다.

복합 형상의 경우 복잡 형상의 마스터 모델의 조합으로 무수히 많은 형상을 정의 할 수 있다. 특정 형상의 경우 대표적으로 사용되는 형상들 중 자주 사용되는 우선 순위를 정의하고 우선 순위가 높은 형상을 우선적으로 D/B화 하였다. Fig 7은 몇 개의 특징 형상 마스터 모델로 구성할 수 있는 복합 형상 코어의 경우의 수를 나타내고 있으며 개발된 설계 시스템은 다양한 복합 형상의 코어를 생성할 수 있다. 즉, 8개의 마스터 모델이 있고, 4개의 마스터 모델을 이용하여 복합 형상 코어를 만들 경우 4096 종류의 코어를 생성할 수 있다. Fig. 8은 각각의 특징 형상들의 조합으로 완성되어진 하나의 복합 형상 코어의 예를 보여주고 있다. 마스터 라이브러리에 있는 7개의 마스터 모델로 복합 형상 코어를 만들었다.

Fig. 9는 개발한 설계 자동화 시스템에 적용될 코어의 대표 형상을 사용도가 높은 순서로 정의한 것이다. 이 코어 형상은 단일 형상 코어와 복합 형상 메인 코

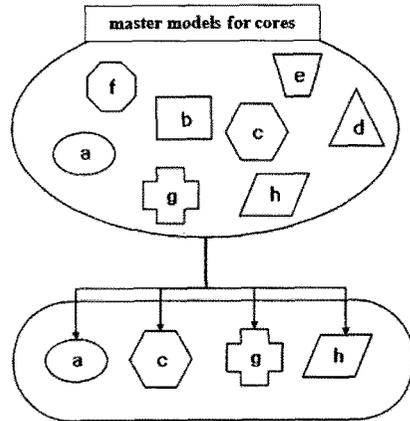


Fig. 7. Various designs for complex cores are possible with only a few master models of cores.

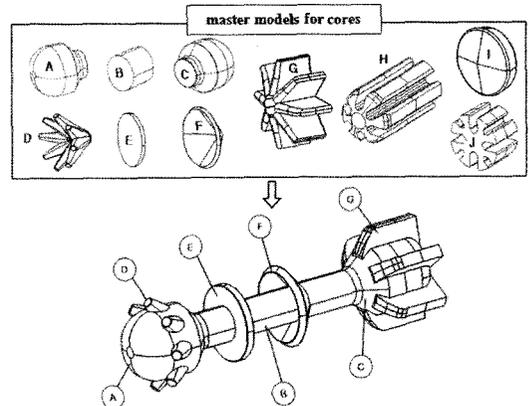


Fig. 8. An example of complex core.

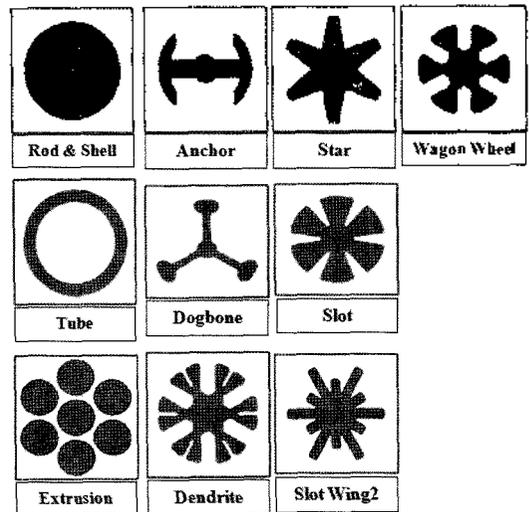


Fig. 9. Typical shapes of cores.

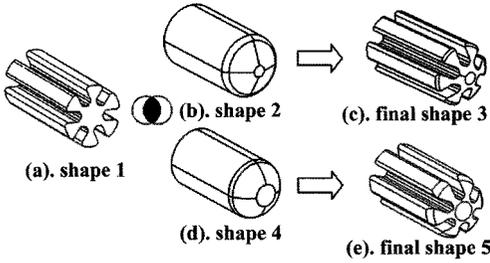


Fig. 10. Different circular shapes of cores can be generated by intersecting the different master models.

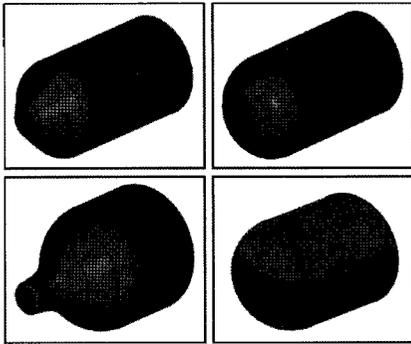


Fig. 11. Four circular shapes of cores generated by intersecting two master models.

어에 모두 적용되는 것으로 현재 10가지가 정의되어 있다.

날개 모양의 코어 형상의 경우 회전 형상과의 조합으로 다양한 형상 변화를 피할 수 있으며 이는 사용자가 옵션으로 선택하여 사용할 수 있다. Fig. 10은 하나의 코어 형상이 서로 다른 회전 형상의 코어와 조합되어 최종적으로 다른 형상의 코어로 생성되는 과정을 보여준다. Fig. 10(a)의 형상을 (b)와 인터섹션(intersection)시켜 (c)와 같은 코어 형상을 만들 수 있고, (a)를 (d)와 인터섹션 시키면 (e)와 같은 코어 형상을 만들 수 있다. Fig. 11은 Fig. 9에 설명된 방법을 통해 만든 회전형 코어의 몇 가지 형상을 보여준다.

4.5 마스터 라이브러리 구축

이전에 설명한 케이스와 코어 형상을 적용할 CAD 시스템인 I-DEAS에서 파라메트릭 방법으로 모델링하여 마스터 모델을 구축하였다. 4.3에서 설명한 케이스를 위한 마스터 모델로 5개의 모델을 생성하였고, 4.4에서 설명한 코어를 위한 마스터 모델로 14개의 모델을 생성하였으며, 이들을 합쳐 마스터 라이브러리를 구축하였다. 개발된 설계 자동화 시스템은 이렇게 구축된 마스터 모델을 사용하여 설계를 하게 된다.

5. 설계 자동화 시스템 개발

5.1 시스템 구조

최적에 가까운 그레인 형상을 찾기 위해서는 여러 가지 그레인의 초기 형상을 만들고, 각 형상 별로 연소 과정중의 특성 값의 변화를 비교하여야 한다. 이를 위해서는 각각의 초기 형상마다 초기 형상에서 연소가 끝날 때까지 연소 과정에 따라 형상을 다시 모델링하고 각 과정마다 특성값을 계산하고 해석하는 작업을 반복하여야 한다. 예를 들어 총 연소 시간이 1분이고 0.1초마다 연소 특성을 구하여 비교하고 싶다면 총 601번 형상을 다시 모델링하여 연소 특성을 해석할 수 있는 특성값들을 계산해야 한다. 즉, 연소 시간이 길고 해석하려는 시간 간격이 짧을수록 반복작업의 횟수는 많아짐을 의미한다. Fig. 12는 이러한 반복 작업을 자동으로 수행하고, 각 수행 과정에서 설계 및 해석에 필요한 특성값을 화면에 나타내고 문서로 저장하여 설계 시간을 대폭 줄일 수 있도록 시스템을 설계한 것을 보여주고 있다.

5.2 메인 GUI 구성

메인 GUI(Graphics User Interface)는 코어 형상에

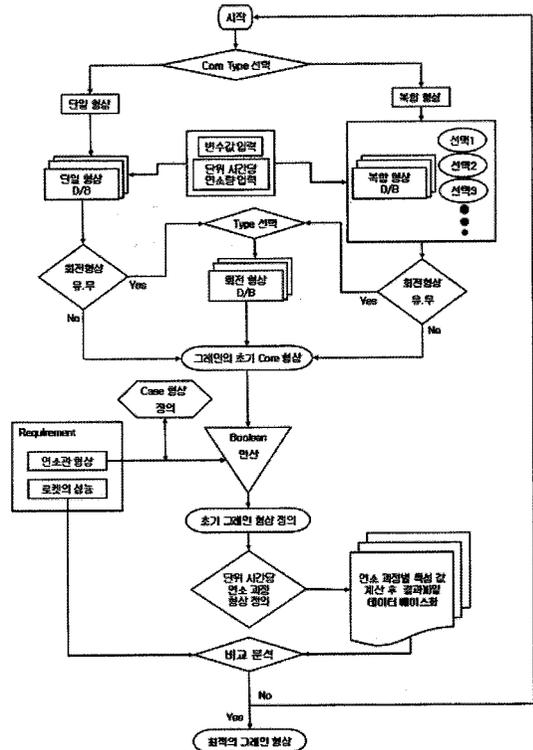


Fig. 12. Flowchart of the developed grain design system.

따라 설계자가 단일 형상, 복합 형상을 선택적으로 사용할 수 있도록 하였으며, 선택한 형상에 대한 데이터 베이스만을 보여줌으로써 설계자가 보다 간편하게 데이터 베이스를 검색할 수 있도록 하였다. 하지만 공통적으로 사용되는 케이스 설계와 모델명 입력 창 등의 위치는 설계자의 편의성을 고려하여 단일 형상, 복합

형상 양쪽 모두 동일한 곳에 위치시켜 GUI를 통일성 있게 구성하였다. Fig. 13과 Fig. 14는 단일 형상과 복합 형상 설계할 때 GUI의 차이를 보여주고 있다.

Fig. 14에 나타난 복합 형상의 경우 코어의 기본 형상을 정의하는 메인 코어(main core)와 기타 돌기 형상들로 구성된 인서트 코어(insert core)로 분류하여 두 가지 종류의 형상을 조합하여 다양한 코어를 모델링할 수 있게 하였다.

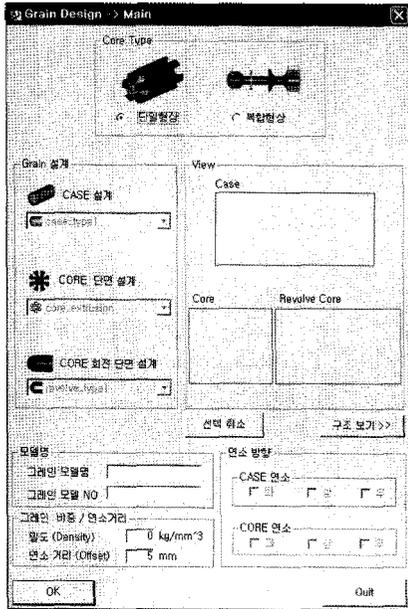


Fig. 13. Main GUI for simple core design.

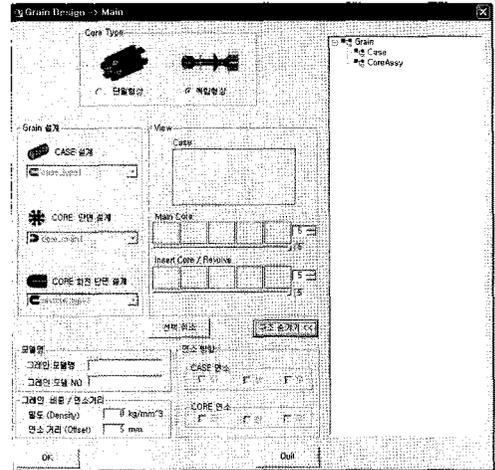


Fig. 15. Tree control at the right window shows the used master models to design the shape of the grain.

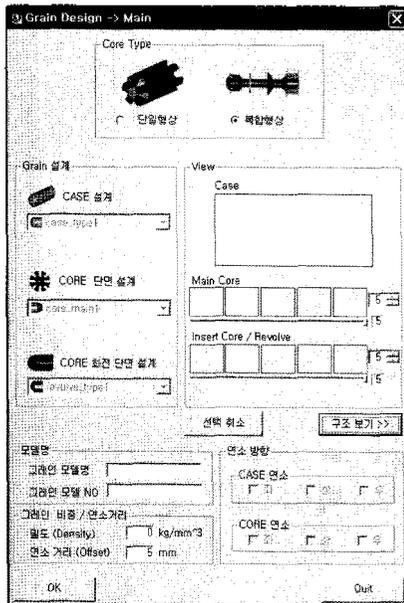


Fig. 14. Main GUI for complex core design

Fig. 15는 그레인의 형상을 모델링하기 위해 사용한 마스터 모델이 많은 경우, Fig. 14에서 “구조 보기”란 버튼을 누르면 오른쪽에 사용된 마스터 모델이 트리 구조로 나타난다. 이 트리 구조에서 설계하려는 마스터 모델을 선택할 수 있으며, 설계가 진행됨에 따라 마스터 모델의 변화를 볼 수 있다.

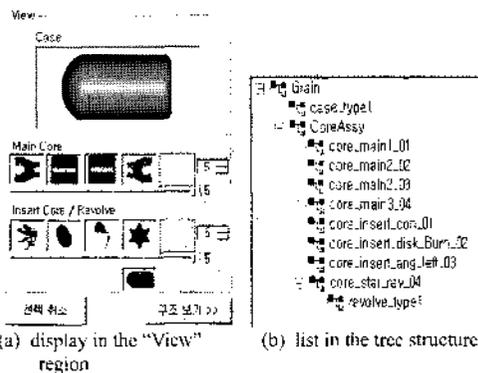
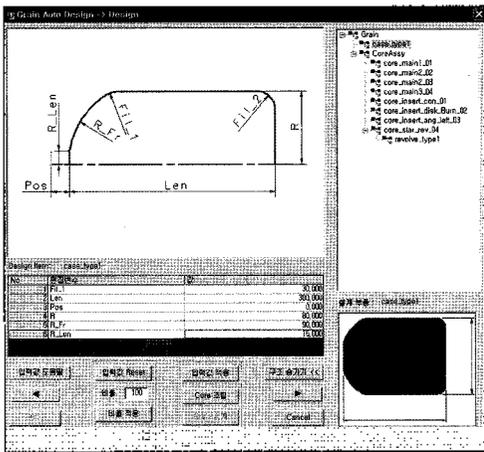


Fig. 16. List of selected models in the region of “View” and tree structure.

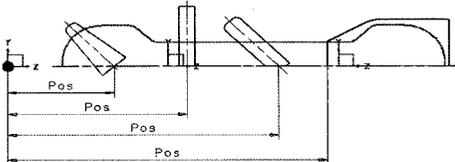
5.3 초기 형상 설계

구성되어진 케이스, 코어, 회전형 코어를 마스터 모델의 데이터베이스를 이용하여 선택한 후, 구체적인 형상과 위치를 설정하여 초기 그레인 형상을 정의한다.

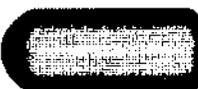
설계 진행 과정에서 전체 그레인 형상을 정의하기 위하여 선택한 케이스 항목 및 타입별 코어 형상 항목이 늘어나면 이전에 선택한 항목을 설계자가 모두 기억하기 어려우므로 화면 우측에 있는 트리 구조로 선택한 항목을 보여준다. Fig. 16은 복합 형상 설계시 선택한 케이스 및 코어를 표현하고 있다. Fig. 16(a)는 메인 GUI의 "View" 영역에서 선택된 케이스와 코어



(a) editing each model



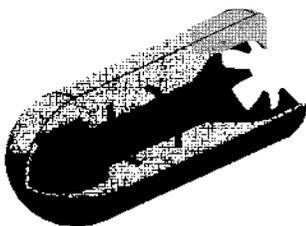
(b) place each model at the designed position



(c) designed case



(d) designed core



(e) completed initial shape of a grain

Fig. 17. Design of the initial shape of a grain.

를 그래픽으로 나타내고 있으며, Fig. 16(b)는 선택된 케이스와 코어를 트리 구조로 나타내고 있다.

선택한 항목의 트리 구조는 이후 작업 과정인 변수 입력 창에서도 공유하여 사용할 수 있도록 하였다. Fig. 17(a)의 트리 구조에서 해당 특징 형상을 선택하면 선택한 모델의 형상이 CAD 화면과 설계 화면에 나타나게 되고, 설계 화면에 나타난 형상에 대한 설계 변수를 입력함으로써 원하는 형상으로 모델링할 수 있다. Fig. 17(b)는 코어를 구성하는 모델이 여러 개인 경우, 즉, 복합 형상 코어인 경우 각 모델을 원하는 곳에 위치시키는 과정을 보여 준다. 이렇게 각 구성 모델을 원하는 형상으로 모델링하여 Fig. 17(c)와 같이 케이스의 최종 형상을 모델링한다. 코어의 경우는 총 9개의 모델이 사용되는데, 8번째 모델과 9번째 모델을 인터섹션시킨 후, 8개를 모두 합하면 Fig. 17(d)와 같이 코어의 최종 형상이 된다. Fig. 17(e)는 케이스에서 코어를 뺀 형상으로 설계 초기 형상이 된다.

5.4 연소 과정 모델링 및 설계 특성값 계산

Fig. 4에 나타난 바와 같이 개발된 프로그램에서 코어는 프로그램 메인 GUI에서 설계자가 입력한 연소 거리만큼 반복적으로 오프셋되며, 그레인이 완전 연소될 때까지, 즉, CAD 화면에 아무 것도 남지 않을 때까지 모델링된다. 또한 각 연소 단계에서 형상이 변화됨에 따라 Fig. 18에 나타난 것과 같이 무게, 무게 중심, 체적, 연소 표면적 등과 같은 설계 특성값을 계산하여 설계된 형상을 해석하는 데 이용한다. 이 특성값은 로켓의 성능을 결정하기 위한 최적의 그레인 형상을 찾는 데 데이터로 활용된다.

보통 하나의 그레인을 설계할 때 제안된 한 형상마다 연소 과정을 약 300번 정도 모델링하여 검토한다.

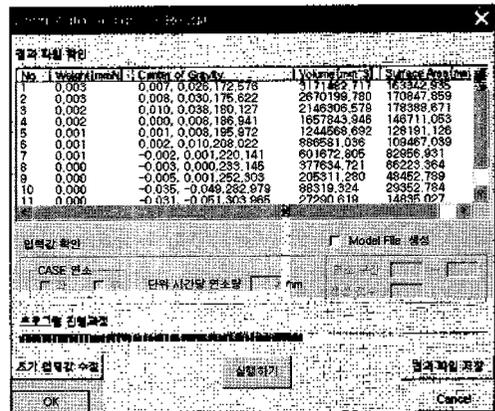


Fig. 18. Display the calculated design values.

개발된 시스템을 사용할 경우 연소 과정과 필요로 하는 설계 특성값들이 자동으로 정리되기 때문에 설계자의 설계 시간을 많이 절감하고 연소 과정에 따라 모델링할 때 발생하는 오류가 없어지게 되었다.

6. 개발 시스템의 효율성

설계 자동화 프로그램의 효율성을 검증하기 위하여, 복합 형상의 대표 형상을 기준으로 연소량 5 mm 일 때와 연소량 1 mm 일 때의 두 가지 설계 조건에서의 기존 설계 방식과 설계 자동화 프로그램을 사용하였을 경우의 설계 시간을 비교하였다. 개발 시스템의 효율성 검증은 사용하는 CAD 시스템인 I-DEAS를 5년 이상 사용한 그레인 설계자가 시험하였으며, 비교 결과를 Fig. 19에 그래프로 표현하였다. Fig. 19(a)는 연소가 5 mm 될 때마다 그레인을 모델링하여 설계 특성값을 계산한 것이고, Fig. 19(b)는 연소가 1 mm 될 때마다 그레인을 모델링하여 설계 특성값을 계산한 것이다.

현재 본 프로그램을 적용하여 그레인을 설계 중인 설계자는 설계자동화 프로그램을 적용하기 전에 일주일 정도의 시간이 소요되던 그레인 설계 작업이 본 프로그램을 사용한 후 1~2일 정도로 설계 시간이 단축되었다고 한다. 특히 연소 과정에 따른 반복 모델링 및 계산 과정에 필요한 시간과 노력은 크게 단축되었다.

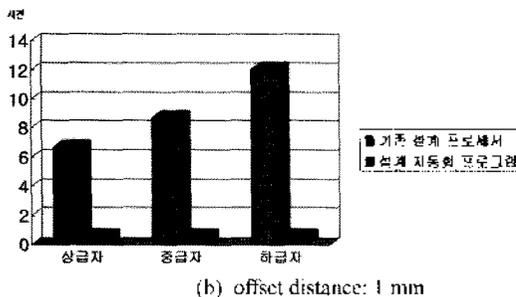
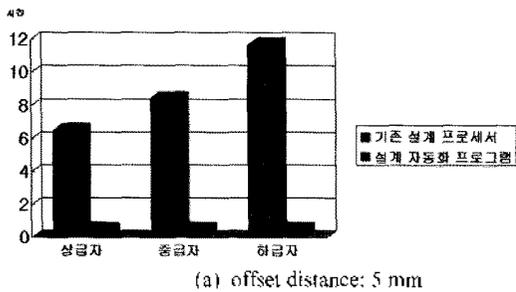


Fig. 19. Compare the manual design and automatic design with the developed system in view of design time.

또한 기존 설계 작업에서 발생되던 단순 반복 작업과 여기서 발생하는 설계 오류를 획기적으로 줄일 수 있었으며, 최적의 그레인 형상을 찾기 위해 보다 많은 형상을 테스트할 수 있어 설계하는 로켓의 성능을 크게 향상 시킬 수 있었다.

7. 결 론

본 연구에서는 설계자의 단순 반복 작업으로 이루어지고 있는 그레인 형상 설계 과정을 자동화하여 설계자의 단순 반복 작업을 최소화하였으며, I-DEAS 사용 능력과 그레인에 대한 전문적인 지식이 적어도 필요한 성능에 가장 적합한 최적의 그레인 형상을 짧은 시간에 설계할 수 있도록 하였다.

이러한 CAD 시스템을 이용한 그레인 설계 자동화 시스템 개발에는 다음과 같은 성과가 있었다.

먼저, 그레인 설계 자동화 시스템 개발 과정을 정립하고 이에 따라 개발되었으며, 이 과정은 크게 마스터 라이브러리 구축과 설계 시스템 개발이란 2개의 과정으로 진행되었다.

마스터 라이브러리 구축 과정에는 다음과 같은 사항이 포함되었다. 그레인 형상을 분석하여 표준화 과정을 통해 케이스와 코어로 분류하였고, 그 중 코어 형상은 다시 단일형상, 복합 형상, 회전 형상의 3가지 형식으로 세분화하였다. 복합 형상의 경우 마스터 모델의 형상을 특징 형상 단위로 세분화하여 이를 서로 조합할 수 있도록 하여, 최소한의 마스터 모델 구축으로, 만들어 낼 수 있는 코어 형상의 경우의 수를 최대화 하였다.

설계 시스템은 그레인 설계 과정을 분석하여 이 과정을 자동화하였으며, 설계자의 지식과 구축된 마스터 라이브러리를 효율적으로 활용할 수 있도록 개발되었다. 또한 그레인 연소 과정을 시뮬레이션하여, 연소 과정에 따라 그레인이 자동으로 모델링되고 또한 필요한 설계 특성값을 계산하여 설계자에게 제공할 수 있게 개발되었다.

5년 이상 설계 경험자가 개발된 프로그램을 사용하여 그 효율성을 검증하였다. 필요한 그레인을 설계하는데 이 전에는 일주일 이상 소요되었으나, 개발된 설계 시스템을 사용한 후에는 1~2일 정도 소요되었으며, 이 기간동안 반복 작업대신 창조적인 설계 업무를 수행할 수 있게 되었다.

현재 개발된 시스템은 로켓의 내부 추진체인 그레인 설계에 대한 것이다. 이 시스템은 다음과 같이 확장되어야 한다. 먼저, 로켓의 형태를 구성하고 있는 구

조제 설계 시스템¹¹⁾과 통합되어야 한다. 두 개의 설계 시스템은 독립적으로 개발되고 사용되나, 더욱 효율적인 사용을 위해서는 두 시스템의 통합이 필요하다. 또한, 개발된 시스템에서 제공하는 설계 특성값은 설계자가 평가한다. 이 과정은 설계자의 지식과 경험이 많이 필요로 하나, 이 과정도 개발된 시스템에 포함되면 더욱 효율적인 시스템이 될 것이다.

감사의 글

이 연구는 국방과학연구소의 지원과 한밭대학교 교내 학술연구의 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

1. 전상민, "기능기반설계와 지식기반설계를 이용한 하이브리드 설계 시스템", 석사학위논문, 연세대학교, 2004
2. 김재현, 박정환, 문천식, 황용근, "Unigraphics API를 이용한 시출금형의 3차원 설계에 관한 연구", *한국CAD/CAM학회논문집*, 제10권, 제6호, pp.381-391, 2005
3. 이강수, 윤종해, 손종호, 이상현, V벨트용 폴리 설계/해석 시스템 개발, *한국자동차공학회는논문집*, 제10권 제6호, pp.209-218, 2002년
4. 이종목, 한순홍, "상업용 부품 DB를 이용한 제품의 편집 설계", 2000년 *한국CAD/CAM 학술발표논문집*, pp.117-122, 2000.
5. 강춘식, 한순홍, "구성 설계 방법을 이용한 차량용 오디오의 파라메트릭 설계", *한국CAD/CAM논문집*, 제2권, 제4호, pp.276-285, 1997.12.
6. 김재현, 문천식, 황용근, 박정환, "Unigraphics API를 이용한 시출금형의 3차원 설계에 관한 연구", *한국CAD/CAM학회논문집*, Vol. 10, No. 6, pp. 381-391, 2005년 12월.
7. 유우식, 김성균, "트랙터 변속장치 기어의 3차원 파라메트릭 설계 및 분석", *산업경영시스템학회지*, 제23권, 제57호, pp. 87-92, 2000. 6.
8. 유우식, 정종철, "기계부품의 파라메트릭 모델링 시스템", *산업경영시스템학회지*, 제25권, 제1호, pp. 14-19, 2002. 2.
9. 이광일, 강재관, 김원일, 이윤경, "솔리드 모델러 기반의 냉각탑용 축류팬 자동 설계시스템", *한국정밀공학회 1997년도 추계학술대회 논문집*, pp. 141-144, 1997년 10월.
10. 김재훈, 김철, "지로터 오일 펌프용 통합적 설계 자동화 시스템 개발", *한국정밀공학회지*, Vol. 23, No. 2, pp. 88-96, 2006년 2월.
11. 윤종민, 원준호, 김종수, 최주호, "통합된 CAD/CAE 자동화 System을 이용한 구조강도해석 및 설계최적화에 관한 연구", *한국CAD/CAM학회논문집*, Vol. 11, No. 2, pp. 128-137, 2006년 4월.
12. 주민식, 이세정, 최동훈, "다분야통합최적설계를 지원하는 분산환경 기반의 설계 프레임워크 개발", *한국CAD/CAM학회논문집*, Vol. 10, No. 2, pp. 143-150, 2005년 4월.
13. 오동길, 유동화, 최주호, 김준범, 하덕식, "CAD와 유한요소해석을 연계한 금형 냉각분체의 설계최적화에 대한 연구", *한국CAD/CAM학회논문집*, Vol. 9, No. 2, pp. 93-101, 2004년 6월.
14. 김원훈, 구송희, 문순일, 황기영, 이강수, 석정호, "고체 추진기관 구조체의 설계 자동화 프로그램 개발", *한국추진공학회지*, 제10권, 제3호, pp. 18-25, 2006.
15. <http://blog.naver.com/peculate/60010617592>, "로켓 추진체의 특성".



김 보 현

1999년 동의 공업대학교 전문학사
2005년 한밭대학교 기계설계학과 학사
2007년 한밭대학교 기계공학과 석사
2007년~현재 SPACE solution 컨설팅팀
관심분야: CAD, 설계 자동화, 최적 설계



이 강 수

1987년 2월 서울대학교 기계설계학과 학사
1989년 2월 서울대학교 기계설계학과 석사
1999년 2월 서울대학교 기계설계학과 박사
1989년~2000년 대우중합기계 선임연구원
2000년~2002년 국민대학교 연구교수
2002년~현재 한밭대학교 기계공학부 부교수

관심분야: CAD/CAM, Intelligent CAD, Product Design, Digital Mockup, PDM



양 준 서

1989년 인하대학교 기계공학과 학사
 1991년 인하대학교 기계공학과 석사
 1991년~현재 국방과학연구소 연구원
 2003년~현재 한국과학기술원 항공공학
 박사과정
 관심분야: 로켓 추진기관 성능설계



이 도 형

1994년 전북대학교 정밀기계공학과 학사
 1996년 전북대학교 정밀기계공학과 석사
 1996년~현재 국방과학연구소 연구원
 관심분야: 로켓 추진기관 성능설계



오 석 진

1998년 한양대학교 기계공학과 학사
 2000년 한양대학교 기계공학과 석사
 2005년 한양대학교 기계공학과 박사
 2002년~현재 국방과학연구소 연구원
 관심분야: 로켓 추진기관 성능설계 및
 가스발생기 개발



권 혁 선

1997년 충남대학교 학사
 1999년 충남대학교 석사
 2002년~현재 충남대학교 박사과정
 1999년~2002년 (주)키미디어
 2002년~현재 ㈜에이디솔루션
 관심분야: 파라메트릭 모델링, CAE



김 성 환

1986년 2월 서울대학교 기계설계학과
 학사
 1988년 2월 서울대학교 기계설계학과
 석사
 1994년 2월 서울대학교 기계설계학과
 박사
 1997년 3월~현재 서울산업대학교 기계
 설계 자동화공학과 교수

관심분야: Geometric modeling, Surface Modeling, Virtual
 design & manufacturing