

CAD 기반 최적설계 시스템인 DS/FDM의 개발과 공학 구조물에 대한 적용

한정삼* · 프랭크 오퍼하우스** · 김영렬*** · 곽병만****

Development of DS/FDM – a Robust CAD-based Optimal Design System and Its Application to Engineering Structures

Jeong Sam Han, Frank Uphaus, Yeong Ryeol Kim and Byung Man Kwak

Key Words : Robust CAD-based optimal design system, Structural optimization, Finite difference method

Abstract

In this paper, we introduce a seamlessly integrated CAD-based design system (DS) for CAD modeling, engineering analysis, and optimal design which has been developed in CCED at KAIST. The key points of this integrating philosophy are to make full use of a parametric CAD program as the platform of integration and to adopt finite difference method for design sensitivity analysis in optimization process to get robustness and versatility. Design variables are directly selected by clicking CAD model parameters and all the analysis and design activities are menu-driven. This integrated program, named as DS/FDM, runs on Windows NT or Unix and FE analyses are performed at a remote Unix-workstation for multiple users. Application examples include shape optimal design of a belt clip that fits onto a portable electronic device and a bracket to show performance of DS/FDM with shell and tetra solid elements. This software is found efficient and effective for shape design and size design of engineering structures.

기호설명

DS/FDM : Design System with FDM sensitivity
API : Application Programming Interface

1. 서론

치열한 시장 경쟁체제에서 우위를 점하기 위해서는 제품 개발이 신속하게 이루어져야 한다. 따라서 제품의 설계만을 담당하던 기존의 설계자와 설계된 제품에 대한 해석을 담당하던 해석자의 개념이 많이 바뀌어서 설계자가 실시간으로 설계 변경의 효과를 확인하고, 생산공정의 요구조건까지 반영된 설계의 개선을 연계 되는 동시공학적 개념의 설계가 필요하게 되었다.

동시공학 개념의 반복적인 설계과정은 최적설계의 개념을 적용함으로써 더 효율적으로 수행될 수가 있다. 근래에 들어 이러한 설계방법에 부합하도록 설계와 공학해석 그리고 최적화를 동시에 수행할 수 있도록 개발된 소프트웨어들이 몇 해 전부터 시판되고 있다.

Deitz[1]는 CAD/CAM/CAE 프로그램에 전/후처리의 기능이 통합된 소프트웨어에 대하여 조사하였다. 또한 롤스로이스사에서는 CADDS 5 CAD 프로그램에 ANSYS 유한요소프로그램을 통합하여 설계에 이용함으로써 설계시간을 단축하였다[2]. 유한요소프로그램으로 유명한 SAS IP사, MSC사 및 SRAC사 등에서는 SolidWorks 나 SolidEdge 및 Pro/ENGINEER 등 널리 사용되고 있는 CAD 프로그램에 자사의 유한요소프로그램을 통합시키는 방법으로 CAD 환경하에서 공학해석과 최적설계가 가능한 소프트웨어를 개발해 오고 있다. 이러한 설계 소프트웨어들은 모두 CAD 모델 기반의 툴로서 CAD 모델의 치수를 설계변수로 선정하여

* 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

** 전 한국과학기술원 동시공학설계연구센터 연구원

*** 한국과학기술원 동시공학설계연구센터 연구원

**** 한국과학기술원 기계공학과 석좌교수

해석과 최적설계를 수행할 수 있기 때문에 설계변수의 선정이 용이하고 메쉬 생성이 자동으로 이루어지는 것으로 유한요소해석의 전처리 프로그램에서 제공하는 형상모델링 기능을 이용해 만든 형상 모델에서 형상정보를 설계변수로 선정하여 최적설계를 수행하는 형상 모델 기반의 톨과 유한요소 메쉬의 절점을 설계변수로 선정하는 해석 모델 기반의 톨보다 최근의 개념이며 설계에 보다 많은 편의성을 제공한다[3].

본 논문에서는 이러한 CAE 분야의 추세에 부응하는 설계와 해석 및 최적화를 CAD 시스템 기반으로 수행할 수 있는 DS/FDM의 개발과 특징 그리고 응용 사례에 대하여 언급하고자 한다.

2. CAD 기반 최적설계 시스템의 개발

2.1 개요

DS/FDM은 그림 1처럼 CAD 모델의 파라메트릭 변경, FE 메쉬의 자동생성, FE 해석, FE 해석결과의 후처리 및 유한차분법을 이용한 민감도해석의 단계로 구성되어 있다[4].

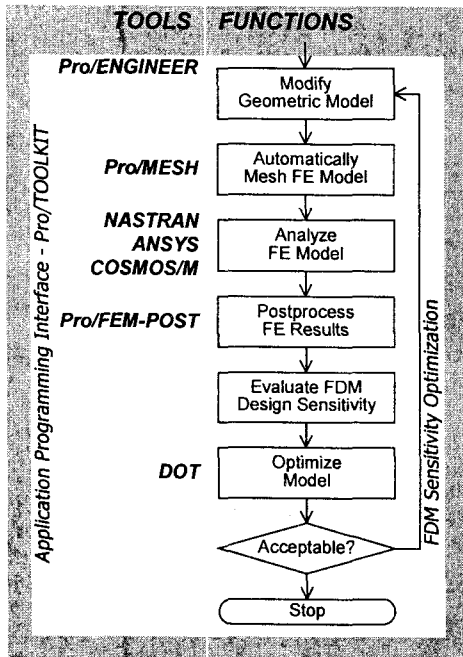


Fig. 1 DS/FDM optimization process

DS/FDM의 가장 핵심적인 사항은 CAD와 FEA 그리고 최적화의 일련의 작업을 CAD 프로그램을 기반으로 한다는 점과 최적화 시 설계민감도를 유한차분법을 이용함으로써 강건성과 다양성을 높였

다는 점이다. 프로그램의 기반이 되는 CAD 프로그램은 Pro/ENGINEER를 사용하였으며 프로그램의 전체 통합은 PTC의 API인 Pro/TOOLKIT을 이용하였다. DS/FDM은 Windows NT와 Unix 워크스테이션에서 모두 실행된다.

2.2 DS/FDM의 수행과정

2.2.1 CAD 모델의 파라메트릭 변경

DS/FDM에서는 Pro/ENGINEER의 파라메트릭 모델링 기능을 적극적으로 이용한다. 파라미터에는 CAD 모델의 치수와 같은 독립 파라미터와 치수에 따라 결정되는 부피나 구조해석의 응답같이 형상 모델에 의존적인 종속 파라미터 등이 있으며 최적설계에서는 이러한 파라미터를 설계변수와 목적함수 등으로 선정하게 된다.

2.2.2 FE 메쉬의 자동생성

형상이 변경된 모델은 FE 메쉬를 다시 생성하는데 Pro/ENGINEER의 전처리기인 Pro/MESH를 사용한다. Pro/MESH는 메쉬의 자동생성 기능을 제공하며 3차원 사면체요소와 쉘요소, 빔요소 및 스프링요소 등을 제공한다. Hard point라는 기능으로 모델의 특정위치에 절점을 위치시킴으로써 특정위치에서의 해석결과를 사용할 수도 있다[5].

2.2.3 FE 해석

DS/FDM에서 사용할 수 있는 FE 프로그램으로는 MSC/NASTRAN, ANSYS, COSMOS/M 등이 있으며 본 연구에서는 MSC/NASTRAN을 이용하였다. 또한 여러 명의 사용자가 동시에 사용할 경우를 대비하여 DS/FDM이 실행되고 있는 컴퓨터와 떨어진 Unix 워크스테이션에서 FE 해석이 가능하도록 원격 FE 해석 기능을 추가하였다.

2.2.4 FE 해석결과의 후처리

FE 해석결과의 후처리는 Pro/ENGINEER의 FE 후처리기인 Pro/FEM-POST를 통해서 이루어진다. NASTRAN의 해석결과가 Pro/FEM-POST의 형식으로 변환되는 과정은 그림 2에 설명되었다.

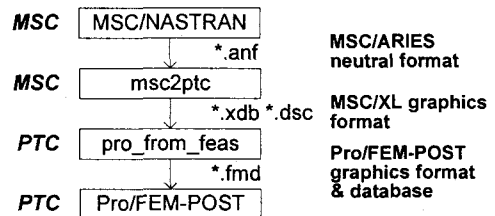


Fig. 2 FE result transfer from MSC to Pro/FEM-POST

후처리에서 각 Hard point의 구조해석 결과는 파라미터로 지정된 후, 다른 종속 CAD 파라미터

및 사용자 정의 파라미터 등과 설계민감도에 사용된다.

2.2.5 유한차분법을 이용한 민감도해석

DOT를 통한 최적화 과정동안 필요한 설계민감도는 유한차분법을 이용하여 계산한다. 해석적인 민감도를 이용하지 않고 유한차분법을 이용함으로써 계산시간의 측면이나 유한차분량의 변화에 따른 민감도의 변화 등의 문제가 있지만 계산의 강건성 및 해석의 다양성에 있어서 장점을 지닌다. CAD 시스템의 파라메트릭 특성과 Hard point에 의한 모델의 특정위치에서의 구조해석 결과의 파라미터화 등으로 유한차분법의 적용은 더욱 효과

서 선택할 수 있다. 사용자의 편의를 위해 마우스를 메뉴에 위치시키면 간단한 도움말도 제공된다.

3. 적용예제

DS/FDM을 이용하여 각각 쉘요소와 사면체요소로 모델링되는 벨트클립과 브라켓에 대하여 최적화를 수행하여 프로그램의 해석 및 최적화 능력을 평가하였다.

3.1 벨트클립

그림 4와 같은 벨트클립은 휴대용 전자장비에

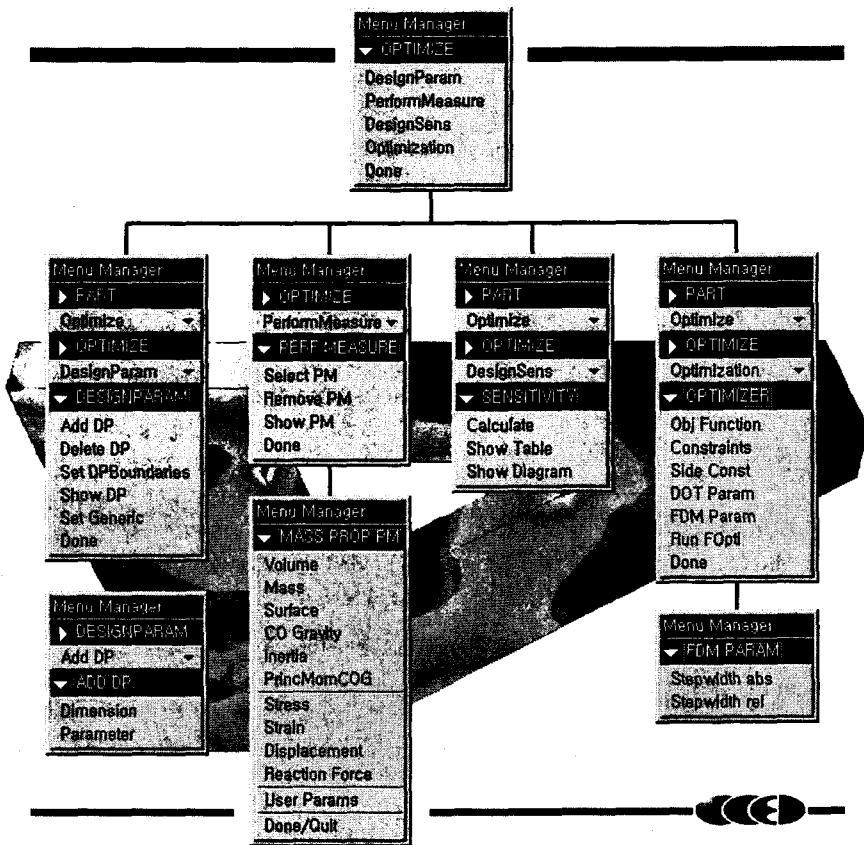


Fig. 3 Menu structure of DS/FDM

적이다.

2.3 DS/FDM의 메뉴체계

DS/FDM은 그림 3과 같이 수행하는 작업에 따라 설계변수의 선택, 목적함수 및 제한함수의 정의, 설계민감도해석 그리고 최적화 문제정의 등으로 나뉘어져 있다.

“OPTIMIZE” 메뉴는 프로그램의 “PART” 메뉴에

귀워 사용된다. 벨트클립은 평상시에는 그림 4와 같은 형태이나 탭부분에 10N의 힘이 아래로 작용하면 캐치부분이 윗방향으로 움직여 래치에서 분리된다. 클립의 캐치부분은 래치에서 제대로 분리되기 위해서는 5mm 이상 윗쪽으로 움직여야 한다. 하지만 그 변형이 8mm를 넘지 않아야 한다. 또한 벨트클립의 질량을 현재 수준에서 유지

하며 응력을 최소로 줄이는 것이 좋은 설계이다.

구조해석 결과 탭의 모서리 부분에서 최대응력이 발생하였기 때문에 이 점을 고려하여 슬롯의 폭, 슬롯의 길이, 슬롯사이의 간격 그리고 클립에서 탭의 상대위치를 변경할 수 있는 길이를 설계 변수로 선정하였다.

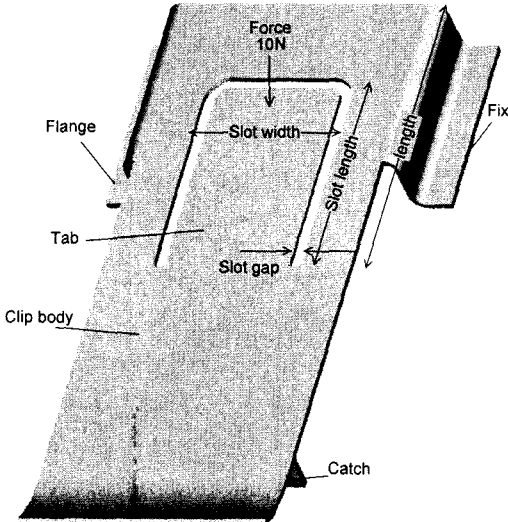


Fig. 4 Belt clip

최적설계의 결과는 초기설계에 비해 슬롯의 폭은 커지고 슬롯사이의 간격은 넓어졌다. 슬롯의 길이와 탭의 상대위치는 거의 변화가 없었다. 특히 슬롯사이의 간격이 넓어져 필렛의 반경이 커짐으로 해서 응력이 낮아졌다. 최적설계를 통해 질량은 초기의 1.76g에서 1.70g으로 줄일 수 있었고, 최대응력도 879MPa에서 805MPa로 줄이는 설계의 효과를 얻었다. 또한 캐치의 변위는 4.49mm에서 5.14mm로 되어 제한조건을 만족하게 되었다. 초기상태와 최적설계에서의 Von Mises 응력분포와 변형모습은 그림 5와 6과 같다.

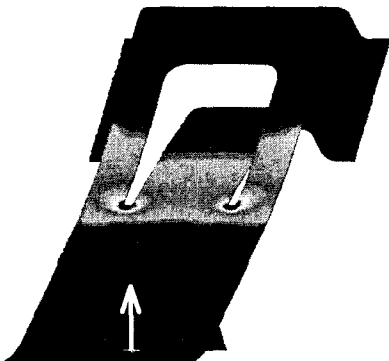


Fig. 5 Von Mises stress contour of initial design

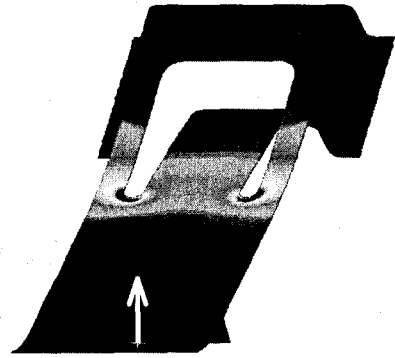


Fig. 6 Von Mises stress contour of optimal design

3.2 브라켓

그림 7은 질량제한 조건하에서 Von Mises 응력을 최소화하는 문제이다. 질량은 현재의 5.5kg에서 0.1kg을 줄여 재료비용을 낮추고 질량을 재배치하여 최대한 응력을 낮추어 안전도를 높이는 설계가 필요하다. 브라켓의 윗면에 1MN/m^2 의 분포하중이 작용하고 왼쪽면은 용접이 되어 고정되어 있다. 또 2개의 구멍은 다른 부품과의 조립 때문에 절대위치가 변할 수 없다. 설계변수는 그림 7과 같이 브라켓의 중앙의 삼각형 부분의 구멍을 변화시킬 수 있도록 선정하고 응력의 집중이 발생하는 필렛부분의 반경도 선정하여 5개로 하였다.

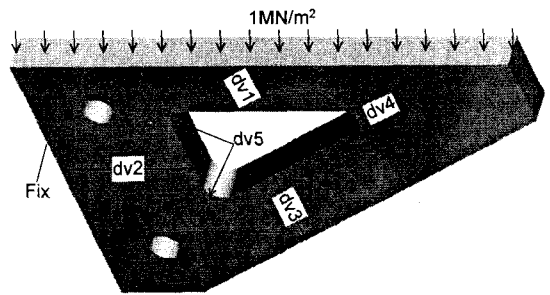


Fig. 7 Bracket

최적화 과정동안 CAD 모델이 설계영역에서 제대로 변경될 수 있는지 그림 8과 같이 확인하였다. 여러 설계변수가 함께 변화하는 도중에 모델의 새로운 변경이 실패할 수도 있으므로 이 과정은 중요하다.

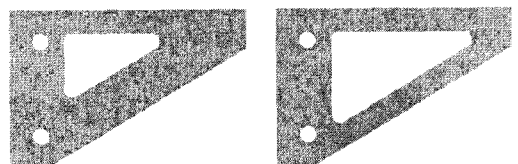


Fig. 8 Check of variability

그림 9는 초기의 브라켓 설계일 때의 응력상태를 나타내는데, 삼각형 모양의 구멍에서 왼쪽 윗 모서리에서 최대응력이 발생하였다. 최적설계 이후에 최대응력은 18.5MPa에서 15.4MPa로 감소하였다. 또한 질량도 5.5kg에서 5.3kg으로 줄어 재료비용도 줄일 수 있다.

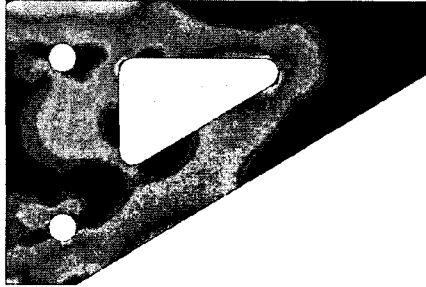


Fig. 9 Von Mises stress contour of initial design

최적형상은 삼각형 모양의 구멍이 왼쪽 아래 방향으로 약간 이동한 형태이며 필렛의 반지름이 증가하여 급격한 형상의 변화에 따른 응력의 증가를 피하는 방향으로 설계되었다.

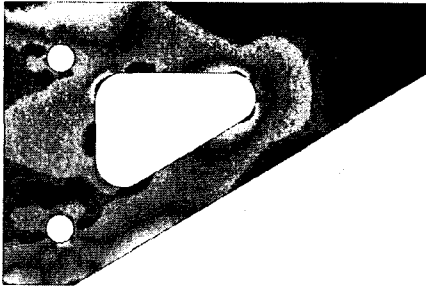


Fig. 10 Von Mises stress contour of optimal design

3차원 사면체요소를 이용한 이 예제에서도 재료비용도 줄이고 구조의 안정성도 높이는 바람직한 설계결과를 얻었다.

또한 더 현실적인 문제로 자동차 현가장치의 로우콘트롤암에 대한 형상 및 치수 최적설계에서도 만족스러운 결과를 얻었다[4].

4. 결론

CAD 프로그램인 Pro/ENGINEER와 FEA 프로그램인 MSC/NASTRAN 그리고 최적화 툴인 DOT가 하나의 설계시스템으로 통합된 CAD 기반 최적설계 시스템인 DS/FDM의 개발에 대하여 설명하고 간단한 공학구조물에 대하여 적용하였다.

DS/FDM은 파라메트릭 CAD 시스템을 그 기반으로 하기 때문에 설계변수와 목적함수 및 제한함수의 선정이 용이하며 설계민감도를 유한차분법을 이용하여 계산함으로 많은 경우 강건성과 다양성을 제공한다. 따라서 기존의 최적설계방법으로는 적용이 어려웠던 경우나 초기 설계단계에서 쉽게 사용하기에 적당한 강건한 프로그램으로 판단된다. 또한 앞으로 피로수명과 신뢰도 등을 고려한 최적설계가 가능하도록 개발할 예정이다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 국가지정 연구실사업(동시공학설계개념에 의한 통합최적설계 시스템 개발)의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

- (1) Dan Deitz, "The Convergence of Design and Analysis," *Mechanical Engineering*, ASME, Vol. 119, No. 3, March, pp. 93-100, 1997
- (2) Dan Deitz, "One-Stop Design and Analysis," *Mechanical Engineering*, ASME, Vol. 119, No. 2, February, pp. 62-65, 1997
- (3) 광병만, "설계와 해석의 동시 수행," *CAD&그래픽스*, No. 1, January, pp. 201-203, 2000
- (4) B.M. Kwak and F. Uphaus, An Integrated Structural Optimization System in Parametric CAD Environment Based on a Finite Difference Sensitivity Method, *Proc. 1998 Korea-US Technical Conference on Strategic Technologies*, October 22-24, Vienna, VA, USA, pp. 271-278, 1998
- (5) *Pro/MESH & Pro/FEM-POST User's Guide V. 20*, Parametric Technology Corporation, 1997
- (6) *Integrated Pro/MECHANICA STRUCTURE™, Introduction Workbook*, Parametric Technology Corporation, Waltham/MA, 1997
- (7) *Pro/ENGINEER Part Modeling User's Guide V. 20*, Parametric Technology Corporation, 1997
- (8) *DOT, Users Manual, V. 4.20*, Vanderplaats Research and Development, Colorado Springs/CO, 1995