

설계활동의 역사적 흐름과 새로운 개념에 의한 구조최적설계 소프트웨어 소개

곽병만*

A Historical Review of Design Activities and a New-Concept Software System for Structural Optimization

Byung Man Kwak

Key Words : Optimal design, CAD, CAE, DS-Structure

Abstract

Theories for optimal design and optimization algorithms have long been well developed. In industries, however, they are not well practiced. To make them work for industry, a new philosophy is necessary and an integration of various software systems required. A review of the history in the aspect of optimal design software is made and a newly developed code DS-Structure is introduced.

기호설명

- DS : Design System
- FDM : Finite Difference Method
- RSM : Response Surface Method
- MEMS : Micro-Electro-Mechanical System

1. 서 론

본 글에서는 공학해석을 포함한 설계활동과 이들의 역사적 흐름을 개관하고, 최적설계가 현장에 응용되기 위해 필수적인 사항과 이를 달성하기 위한 접근 방법을 새로이 개발된 DS-Structure 의 소프트웨어 시스템을 통하여 소개하고자 한다.

2. 기계공학 분야의 설계 활동 개요

2.1 설계 활동에서의 최적설계

기계공학 분야 설계 활동을 기계 시스템의 구조 설계의 측면에서 본 것이 그림 1 에 나와있다. 기하학적 자료, 하중 자료 등이 먼저 고려되면 그 후 활동은 CAD 모델링, 응력 해석을 위한 전처리, 유한요소법등에 의한 해석, 그리고 후처리를 통하

여 원하는 성능 지수를 구하는 일련의 활동과 CAD 모델링에서부터, 동역학적인 해석을 운동 해석과 또는 그 결과로 얻어진 각 부품의 하중 이력 등을 입력으로 한 응력 해석의 일련의 과정이 기계 시스템 공학 해석의 주요 활동이다. 대개 원하는 성능 지수는 해석에서 얻어지는 일차적인 상태 변수인 운동과 변위, 고유진동수와 모드 등은 물론 이들 결과들을 후처리하여 얻어지는 응력, 피로 수명, 신뢰도 등의 보다 복잡한 이차적인 성능과 관련된 변수들이다. 구조가 파손 되지 않으면서 성능을 가장 좋게 하는 크기나 모양 등의 설계를 찾는 문제가 설계의 핵심 활동이다. 이를 수학적 방법론에 근거한 수식적 최적화를 수행하는 경우 "최적설계" 활동으로 정의 할 수 있다.

최적설계는 단면적, 두께 등을 구하는 치수 최적설계와, 대상 구조물의 문제영역 즉 형상을 구하려는 형상 최적설계, 그리고 구조물의 위상 즉, 요소나 구멍의 수 또는 이들의 위상적인 배치를 다루는 위상 최적설계 등으로 분류할 수 있다. 얼마 전 까지만 해도 어려움 때문에 치수최적화 문제가 주로 다루어졌으나, 최근에 와서, 본 글에서 소개되는 바와 같은 근사적 설계민감도 해석 등을 통하여 형상 최적화가 보다 잘 이루어지게 되었다.

* 한국과학기술원 기계공학과 교수

2.2 공학 해석

공학 해석은 해석 모델에 따라 선형 시스템과 비선형 시스템으로 나눌 수 있으며, 과거에는 선형 모델을 주로 사용하였으나, 컴퓨터 용량과 계

부터 개발되어 있었지만 계산 능력의 한계 때문에 컴퓨터의 발전과 계를 같이하여 70 년대에 와서야 크게 발전하였고, 이 시기에 본격적인 코드가 개발되어 상용화가 이루어지기 시작하였다.

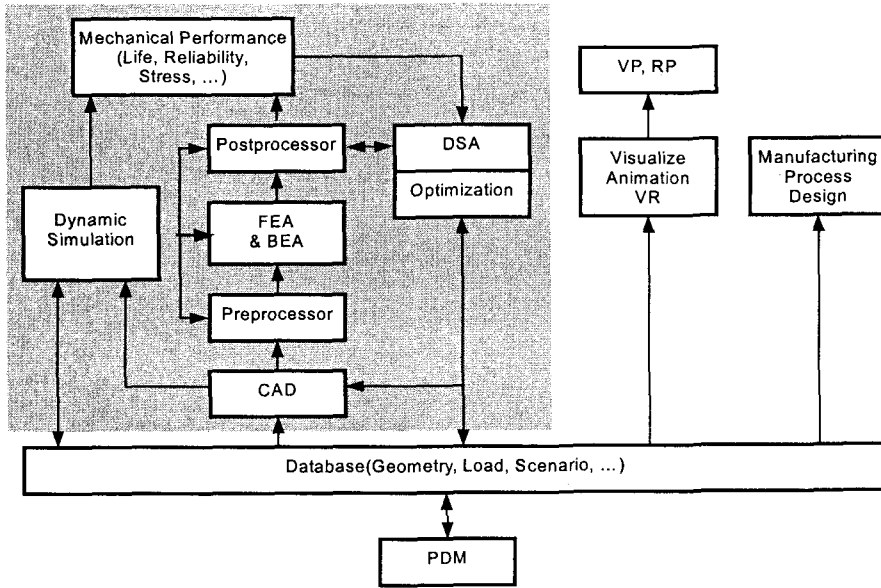


Fig.1 Design activities

산 능력이 크게 발전함에 따라 비선형 모델과 해석이 크게 부각되고 있다. 재료의 비선형은 주로 소성, 탄소성, 점소성 등으로 연구되고, 기하학적 비선형은 대변형/대변위, 경계 조건의 비선형 등이 있으며, 이들 두 비선형이 복합적으로 나타나는 대표적 문제가 마찰 접촉 문제이다. 다른 혼란 예는 대변형 탄소성 해석 등이다. 공학 해석문제는 열전달문제, 유체공학문제 등 다양하지만 특히 최근에 다루는 정밀 시스템은 이들의 분야가 복합적으로 작용하는 복합장 문제로 나타나고 있으며 때에 따라 MEMS 와 같이 전자기장 등을 포함한 복합장 해석이 요구된다.

3. 설계 분야 기술 개발의 흐름과 미래

비록 컴퓨터는 1947 년경에 발명되어 50 년대에도 이미 일부 공학 계산에 쓰여졌지만 60 년대까지만 해도 계산적이 공학자와 기술자의 필수품으로 모든 계산에 응용되었다. 그러므로 컴퓨터의 일반적인 응용은 60 년대부터이고 1970 년대 와서 일반에게 보편화되었다.

한편 상기한 공학 해석문제의 수치해석법은 유체역학의 FDM 과 고체역학의 FEM 이 훨씬 이전

70 년대부터 소위 CAE 라는 용어가 이들을 두고 만들어진 것이라 할 수 있다. 또한 70 년대 중반부터 컴퓨터 그래픽스 개념이 개발되어 70 년대 말부터 시작하여 80 년대에는 CAD 코드가 상용화하기 시작하였다. CAD (Computer Aided Design)은 실제로는 Computer Aided Drafting 이었다. 이와 비슷한 시기에 CAM 이 나오기 시작하였고, 이는 NC Programming 과 NC Graphics 를 주요 내용으로 하는 것이었다.

한편 최적설계 분야를 보면 최적화 이론은 응용수학의 한 분야로 오랜 역사를 가지고 있으나, 기계공학 이용을 목표로 한 최적설계는 70 년대 초부터 활성화 된 것으로 보여진다. 그러나 코드 개발은 늦어져서 80 년대에 소수의 코드가 개발되어 쓰여지게 되었다.

이와 같이 공학에서의 컴퓨터 이용은 컴퓨터의 발전과 함께 하는 매우 짧은 역사임을 알 수 있는데 특기할 것은 이와 같은 역사적 흐름은 90 년대에 그 응용이 본격화되었고 가히 폭발적인 응용의 시대가 되었다. 그러나, 90 년대까지도 CAE, CAD, 그리고 OD (Optimal Design)가 모두 산발적으로 그리고 독립적으로 사용되었다. 90 년 중반이 지나서야 일부회사에서 CAD 와 CAE 가 연계된 즉,

CAD의 모델링과 메쉬 생성 그리고 솔버가 통합된 시스템이 쓰여진 사례가 나오기 시작하였다.

그림 2는 이 시대의 공학설계 활동을 시기별로 크게 1974년까지의 공학 해석 시기, 2000년까지의 CAD/CAE 시기 그리고 2000년대부터 인터넷 시기로 나눌 수 있음을 보이고 있다. 그림에서 90년대부터 통합 S/W (Integrated Software)를 표시하였으나 선으로 그을 만큼 분명하지는 않다. 그러나 2001년 현재 설계분야의 이슈는 어떻게 다양한 소프트웨어들을 통합하는가이다. 그 다음에 일어날 것이 인터넷을 기반으로 하는 설계 (Internet-Based Design)가 될 것이다.

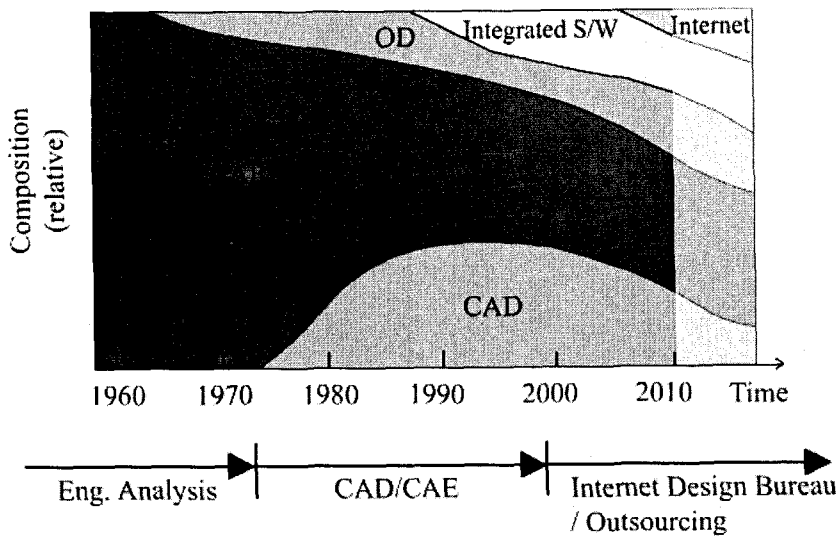


Fig.2 Design stream : Past and Future

본 글에서는 설계해석 통합소프트웨어가 갖추어야 할 특성과 특히 필자 등이 개발하여 최근에 일차적으로 발표한 바 있는 최적설계를 중심으로 한 CAD+CAE+OD의 통합시스템을 통하여 개발방향과 개념을 설명하고자 한다. 최적설계를 통합화 관점에서 살펴본 후 개발된 소프트웨어인 DS-Structure를 통한 사례와 경험을 기술한다. DS는 Design System의 약자로서 구조물용 통합설계시스템의 뜻을 가지고 있다.

4. 설계 활동 통합화에 요구되는 특성

설계 활동을 통합화하는 설계 틀에는 다음과 같은 특성이 요구된다.

4.1 강건성 (robustness)

프로그램 자체의 버그(bug)가 적어야 함은 물론

이고, 사용자간의 차이에서 발생하는 사용자 사용방법의 변동 및 기타 잡음에 강건해야 한다. 가령, 구조해석 시 해석의 성공 여부가 메쉬 형상에 지나치게 의존적이어서 해석이 제대로 이루어지지 않는다면 하는 문제가 발생하지 않아야 한다. 또한 데이터 전동 및 연계에 유연성이 필요하며 사용자가 입력해야 하는 파라미터 정보가 최소화 되어야 한다.

4.2 신뢰성 (reliability)

입력 정보가 합리적이고 신뢰할 만한 경우에 결과의 신뢰성도 보장되어야 한다.

4.3 다양성 (versatility)

통합 설계 프로그램의 다른 중요한 특성은 다양한 CAD 플랫폼에서 여러가지 해석 프로그램을 이용하여 다양한 문제를 취급할 수 있는가 하는 것이다. 다양한 CAD 플랫폼, 다양한 해석 프로그램 및 최적화 방법 등이 제공되어 사용자의 환경에 맞게 적용될 수 있어야 한다. 어떤 필요한 해석 및 특정한 기능이 제공되지 않는다면 사용자는 그 설계 프로그램을 외면하게 될 것이다. 한 설계 프로그램이 모든 것을 다 해결할 수 있는 없지만, 가능한 여러 문제를 해결할 수 있도록 폭넓은 다양성을 지녀야 할 것이다.

4.4 속도 (speed)

해석 프로그램의 사용자들은 항상 해석 시간이 너무 오래 걸린다고 불만을 가지고 있기 마련이기

때문에 어느 정도 합리적인 시간 내에 해석과 최적화가 이루어져야 여러가지 설계를 확인해 볼 수 있을 것이다. 이 부분은 컴퓨터의 발달과 더불어 많이 개선되는 추세이다.

4.5 용이성 및 편의성 (easy-to-use & user friendliness)

프로그램의 입력과 출력 형태가 체계적으로 구성되어 사용자 개입이 최소화 되어야 하며 문제가 발생할 경우를 대비한 경고 메시지나 해결 방법을 제시하는 기능이 필요하다. 또한 사용자가 현재 진행 중인 사항에 대한 정보를 확인할 수 있도록 진행사항 정보를 제공하여야 한다.

이러한 요구 사항을 고려할 때, CAD 시스템을 바탕으로 하여 기본적인 설계가 이루어지고 해석과 최적화가 가능하도록 그 기반 하에서 상용 프로그램을 연계하여 통합 설계 프로그램을 개발하는 것은 위의 요구 사항에 적합하다고 할 수 있다.

5. 통합최적설계시스템 - DS-Structure

한국과학기술원 동시공학설계연구센터(Center for Concurrent Engineering Design)에서는 설계, 해석 및 최적화가 CAD 기반 하에서 가능하도록 앞에서 언급한 요구 사항을 고려하여 통합최적설계시스템인 DS-Structure (Design System-Structure)를 개발하였다[9].

그림 3 과 같이 CAD 플랫폼을 기반으로 설계와 구조해석 및 최적화가 통합적인 환경 내에서 가능하도록 CAD 프로그램과 구조해석 프로그램 및 최적화 알고리즘을 통합 연계하였다. 현재까지는 표 1 처럼 3 모듈이 개발되었다.

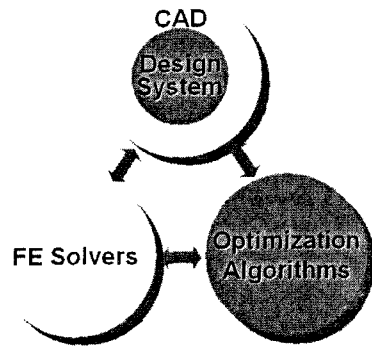


Fig. 3 DS-Structure : Total design system integrated with CAD, FE analysis and Optimization
DS/FDM 은 PTC 사의 API 인 Pro/TOOLKIT 을 사용하여 Pro/ENGINEER 의 CAD 모델링부터 구조 해석 및 최적설계를 수행할 수 있도록 되어있다. 최적화 방법으로는 일반적인 비선형 계획법을 이용하여 민감도는 유한차분법을 이용하였다.

DS/Taguchi 는 DS/FDM 의 골격에 최적화 방법으로 다구찌 방법을 도입하여 강건설계가 가능한 프로그램이다. DS/MEMS 는 SolidWorks 를 기본으로 하여 좀 더 간단한 구조의 MEMS 구조물에 적용할 수 있도록 구성되어 있다. 현재는 MEMS 구조물의 기계적인 부분의 해석 및 최적화가 가능하고 향후에 복합장에 대한 성능최도도 최적화 할 수 있도록 개발중이다.

6. 예 제

6.1 스프링 시트 (spring seat)

본 예제는 맥퍼슨 스트러트 현가 장치의 앞쪽

Table 1 DS-Structure's three modules

Developed modules			Integrated programs		
			Operating system	FE software	Optimization algorithm
CAD system	Pro/ENGINEER	DS/FDM	Windows NT Unix	MSC.Nastran STRA-D ¹⁾	NLP ²⁾
		DS/Taguchi	Windows NT Unix	MSC.Nastran STRA-D ¹⁾	Taguchi method
	SolidWorks	DS/MEMS	Windows NT	FEMAP ANSYS	NLP ²⁾ /RSM ³⁾ Taguchi method

1) STRA-D : FE analysis program (<http://www.feasoft.co.kr>)

2) Non-Linear Programming with gradient information by FDM

3) Response Surface Method

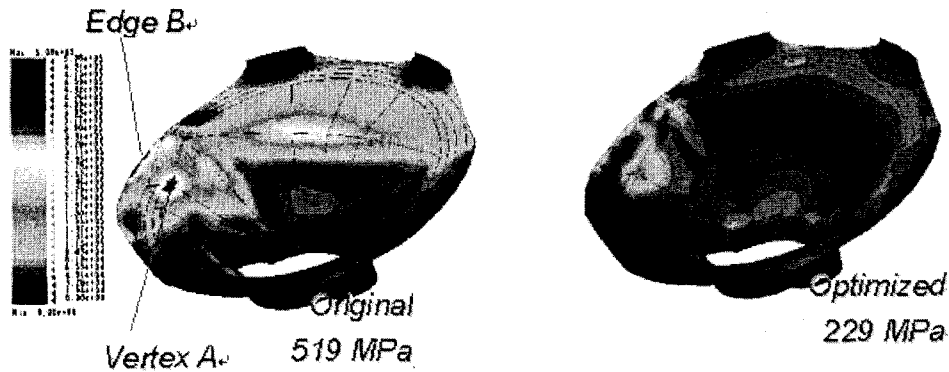


Fig.4 Optimal result of spring seat problem

에 위치한 스프링 시트이다. 이 부품은 현가장치에서 스프링의 위치를 잡아주는 얇은 판 구조물로서의 일종인 SPHC로 이루어져 있다.

모델을 정확히 모델링하기 위하여 3 차원 측정기를 이용하여 300 점의 값을 측정하고 그 결과를 바탕으로 모델링하였다. 스프링 시트의 모서리 중 스트러트에 용접되는 부분은 고정시키고 스프링이 마운트되는 면에 총 4.83 kN의 힘이 스트러트 축에 대하여 6.5 도 기울어지게 작용한 상태에서 DS/FDM을 활용하여 최적설계를 수행하였다. A와 B 두 지점의 응력값을 370 MPa를 넘지 않도록 하면서 꼭지점 A에서 발생하는 응력을 최소화하도록 하였다.

그림 4 초기설계와 최적화된 설계의 최대응력 분포를 나타내었다. 초기에 519 MPa이었던 A 지점의 최대응력값이 229 MPa로 감소되었으며 전체적인 응력분포 또한 크게 개선되었음을 살펴볼 수 있다.

7. 결론

설계활동의 역사적 흐름을 검토하고, 새로운 접근 방법에 의한 다양한 활동을 통합한 최적설계 소프트웨어 개발을 소개하고 실용 가능성을 보였다.

후 기

본 글을 작성하는데 동시공학설계연구센터 학생들의 많은 도움이 있었다는 것을 밝힌다.

참고문헌

- (1) Haug E J and Arora J S, *Applied Optimal Design*, John Wiley, 1979
- (2) Kirsch U, *Optimum Structural Design*, McGraw Hill, 1981
- (3) Haug E J and Cea J(eds), *Optimization of Distributed Parameter Structures*, Vol. 1 & 2, Sijthoff and Noordhoff, 1981
- (4) Morris A J(ed), *Modern Structural Optimization*, NATO Advance Study Institute, University of Liege, 1980
- (5) Atrek E, Gallagher R H, et al(eds), *New Directions in Optimum Structural Design*, John Wiley, 1984
- (6) Haug E J, Choi K K and Komkov V, *Design Sensitivity Analysis of Structural Systems*, Academic Press, 1986
- (7) Ullman D G, *The Mechanical Design Process*, McGraw Hill, 1992
- (8) Kwak B M, 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, 1998, Vienna, VA, USA, 271-278
- (9) Kwak B. M. Introduction of CAD-Integrated Optimal Design System by Concurrent Engineering Design, Material for the First Workshop of Center for Concurrent Engineering Design, March 30, 2001, KAIST