

반복 설계 과정의 자동화를 위한 설계 변수 영향관계에 관한 연구

류 갑 상* · 신 중 호**

On Sensitivity of Design Variables for Automation of Iterative Design Procedures

Gab-Sang Ryu* · Joong-Ho Shin**

ABSTRACT

This paper proposes a sensitivity technique for analysis of the relationships between input variables (known values) and output variables(unknown values).

These design variables are constrained by design equations. Thus, the output variables can be calculated by solving the equations with eliminating the input variables from the equations because the input variables become constants.

If the output variables are not satisfied, the values of the input variables must be adjusted by increasing or decreasing the values and then the problem must be solved again. This is called as the iterative design procedure. The sensitivity technique, presented in this paper, gives the sensitivity on the changes of the values of the output variables to the input variables.

1. 서 론

국내 기계산업의 급속한 성장은 우리의 생활에 큰 변화를 주며, 보다 효율적이고 실용적인 설계의

필요성을 절감하고 있다. 생산성의 향상과 기술의 축적을 위한 새로운 기술개발에 대한 필요성은 국제 경쟁력 확보란 측면에서 매우 강조되고 있는 현 실정에서, 설계의 자동화는 중요한 요소가 될

* CAD/CAM실 연구원

** CAD/ CAM실 선임 연구원

수 밖에 없는 설정이다.

최근에 발표되는 논문이나 전문서적에서는 기계요소 설계문제를 설계 분석법칙으로 보고 있다. 이들 법칙에서는 주어진 입력 설계변수(Design-Variable)를 이용하여 설계문제를 정의하는 설계식과 제약식을 만족하는 최적의 설계출력변수를 연산해 내는 과정을 문제 해결로 보고 있다. 본 논문에서는 설계분석법칙을 기본으로 하여 기계요소 설계시 문제에 독립적으로 접근하여 문제 해결을 유도할 적합한 설계 구조를 설명하고 각 단계에서 요구되는 기법을 기술한다.

본 논문에서는 설계자와 대화식으로 최적설계 값을 구하는 전문가 CAD 기법으로서, 입력 변수와

2. 전문가 설계 시스템

2.1 전문가 설계시스템의 구조

전문가 설계 프로그램은 사용자(설계자)로부터 설계 입력변수를 받아들여 그림1과 같은 입력단계, 문제해결단계, 그리고 재설계단계를 거쳐 최종 결과를 얻도록 한다.

자료 입력단계에서는 설계자가 입력한 설계변수로 부터 일련의 과정을 거쳐가면서 설계변수들 간의 관련성을 자동 포착하여 내부적으로 설계 경우를 자동 생성한다. 이때 Case-Building기법이 사용된다. 문제 해결단계에서는 대부분 비선형 방정식으로 표현되는 설계식을 수치해석의 반복

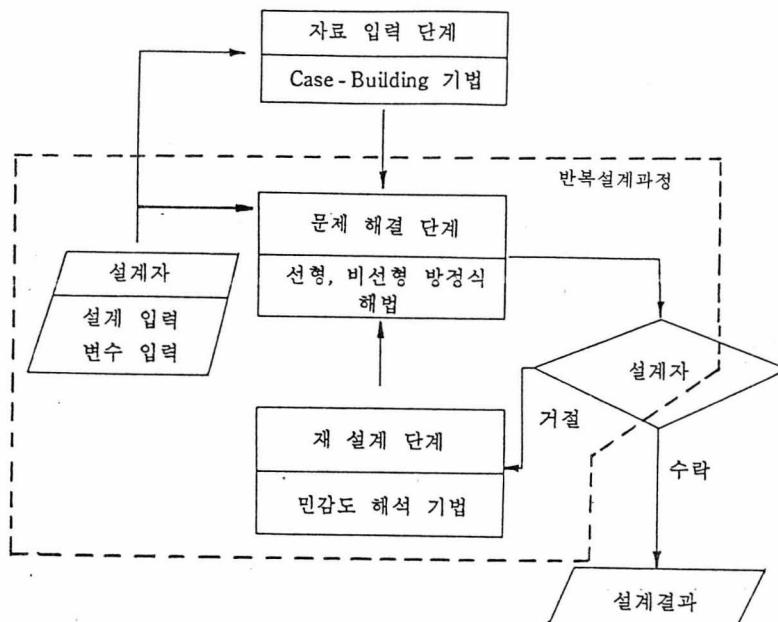


그림1. 전문가 설계 시스템

출력변수의 자동추론을 위한 Case-Building기법을 간략히 소개하고, 설계결과의 분석과정에서 재설계가 반복적으로 요구될때 각 변수의 상호연관성 상태를 분석하여 효율적으로 설계 자동화를 구축할 수 있는 민감도해석 기법에 중점을 둔다.

법을 이용하여 설계 출력변수를 계산해 낸다.

마지막 재설계 과정에서는 설계결과가 만족스럽지 못할때 민감도 해석기법을 이용하여 최종 설계결과에 영향을 끼친 설계변수를 찾아 내어, 설계자에게 해당 설계 결과를 얻도록 하고 있다.

그림1에서 제시한 설계구조와 관련기법을 이용하면 대부분의 기계류 설계 프로그램은 보다 설계자로 하여금 효율적으로 빠른 시간에 원하는 결과를 얻을 수 있는 최적의 프로그램이 될 수 있다.

2.2 설계경우 자동추론(Case-Building) 기법

기계류 설계에는 관련 설계 변수들의 수(n)가 해당 설계 방정식의 수(m)보다 일반적으로 많다. 따라서 대화식 설계 프로그램은 설계자로 하여금 최고 $n-m$ 개의 설계 변수 값을 입력하도록 요구하여 이들 입력 설계변수를 이용한 나머지 미지의 설계 변수를 프로그램 내에서 추론하도록 요구한다.

종전에는 설계 프로그램내에 한정된 수의 가능한 설계 경우들을 미리 선정해 놓고 설계자에 의해 입력된 $n-m$ 개의 설계 변수들을 조합 한 후 그중 적합한 설계의 경우를 선택하면 그 설계 경우에 대응되는 수치해석 루틴을 호출하여 나머지 미지 변수값을 찾도록 하였다[1]. 그러나 위와 같은 방법은 모든 설계 가능한 경우들을 고려하지 못하기 때문에 설계자가 원하는 결과의 유추가 어렵다.

예를 들면 설계변수가 8개이고 설계식이 4개인 경우 설계자가 설정 해야할 4개의 설계 입력변수의 결정에 대한 설계 경우는 ${}_8C_4$ 의 경우이며 이는 70가지의 설계 경우가 존재한다. 이에 따라 프로그램 양은 급격히 증가하여 프로그램 관리가 어려워지고 효과적인 CAD프로그램 개발을 힘들게 한다.

이러한 문제점을 해결 하기위해 본 논문에 소개하는 Case-Building기법은 사용자에 의해 입력된 $n-m$ 개의 설계 입력변수 및 관련 설계식을 이용하여 나머지 관련 설계 미지변수들을 추론하고, 이에 따른 설계 경우를 자동적으로 구축하도록 한다.

3. 설계변수 영향관계 분석

3.1 민감도 해석 기법

모든 대상물에 대한 설계에서 처럼 기계류의 설계를 위해서는 설계식과 제약조건 그리고 이들을 구성하는 설계변수가 필요하다. 설계변수는 설계자에 의해 수치값으로 제공될 수 있는 설계 입력변수와 이들 변수에 의해 연산되는 설계 결과 즉 설계출력변수로 나눌 수 있다.

설계자는 원하는 내용의 기계류 부품을 설계하기 위해 설계 입력변수값들을 바꿔가면서 설계를 반복한다. 그러나 Power-Screw의 설계와 같이 설계식과 제약조건이 복잡 해지고 설계변수가 많아지면 설계자가 아무리 잘 선정하여 최적의 값이라고 생각되는 설계 입력변수값을 입력해도 연산되어 나오는 설계출력값은 본래 의도했던 값이 나오지 않는 경우가 많다. 이러한 경우 설계자는 가지고 있는 정보나 혹은 의도했던 각 설계 출력변수값에 의존하여 연산되어 나온 출력변수들 중 원치않는 수치값을 갖는 설계변수들을 찾아 낼 수 있다.

그러나 이러한 출력변수가 연산되어 나오기까지는 어떠한 설계 입력변수들이 어느 정도의 영향을 끼쳤는지를 알기란 쉽지 않으며, 이를 스스로 판단하여 관련 입력변수값을 적절히 조정한 후 재설계에 의해 원하는 결과의 출력변수를 얻기 까지는 시간의 소비와 수많은 시행착오로 효율적인 설계를 어렵게 만든다.

본장에서는 설계 결과를 놓고 설계자가 특정 설계 출력변수의 재설계를 원하면 설계 입력변수들과 출력변수들 그리고 설계식 및 제약식의 연관관계에 따라 설계 입력변수들과 출력변수들 그리고 설계식 및 제약식의 연관관계에 따라 설계 출력변수에 영향을 끼친 설계 입력변수들을 찾아내어 설계자가 원하는 값을 갖기 위해 이들 입력변수값을 어떻게 조정해야 할것인가를 설계자에게 알려 줄수 있는 민감도 해석기법을 기술한다.

이 민감도 해석 기법을 전문가 CAD 프로그램 개발시 재설계 단계에서 사용되는 기법으로 설계결과에 불만을 갖는 설계자에게 최적의 설계 결과를 얻을 수 있도록 도움을 주는 기능을 수행한다.

3.2 민감도 해석의 이론적 분석[2]

대부분의 설계식은 설계변수가 n 개인 m 개 선형 및 비선형 방정식으로 표현되며 실수의 n 순차상 (X_1, X_2, \dots, X_n)은 Euclid n 공간에 있어서 한개의 n 벡터로 생각할 수 있다.

$$\left. \begin{array}{l} f_1(\underline{X}) = 0 \\ f_2(\underline{X}) = 0 \\ \vdots \\ f_{m-1}(\underline{X}) = 0 \\ f_m(\underline{X}) = 0 \end{array} \right\} \quad \dots \quad (1)$$

식(1)의 m 개 다항식은 수치해석에서 가장 기본적이고 유용한 도구의 하나인 Taylor 급수에 의해 식(2)와 같이 전개된다.

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial f_1(\underline{X})}{\partial X_1} \cdot \Delta X_1 + \frac{\partial f_1(\underline{X})}{\partial X_2} \cdot \Delta X_2 + \dots + \frac{\partial f_1(\underline{X})}{\partial X_n} \cdot \Delta X_n = 0 \\ \frac{\partial f_2(\underline{X})}{\partial X_1} \cdot \Delta X_1 + \frac{\partial f_2(\underline{X})}{\partial X_2} \cdot \Delta X_2 + \dots + \frac{\partial f_2(\underline{X})}{\partial X_n} \cdot \Delta X_n = 0 \\ \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \\ \frac{\partial f_m(\underline{X})}{\partial X_1} \cdot \Delta X_1 + \frac{\partial f_m(\underline{X})}{\partial X_2} \cdot \Delta X_2 + \dots + \frac{\partial f_m(\underline{X})}{\partial X_n} \cdot \Delta X_n = 0 \end{array} \right\} \quad \dots \quad (2)$$

여기서 설계자에 의해 입력될 설계변수의 수는 $(n-m)$ 개이고 Newton-Raphson방법과 같은 수치 해석법에 의해 연산될 수 있는 출력변수의 수는 m 개이다. 식(2)를 입력변수항(ΔX_i)과 출력변수항(ΔX_o)으로 나누어 재정리하면 식(3)이 된다.

$$\left[A(m, n-m) \right] \left. \begin{array}{l} \Delta X_{i1} \\ \Delta X_{i2} \\ \vdots \\ \Delta X_{in-m} \end{array} \right\} = [B(m, m)] \left. \begin{array}{l} \Delta X_{o1} \\ \Delta X_{o2} \\ \vdots \\ \Delta X_{om} \end{array} \right\} \quad \dots \quad (3)$$

위식에서 $\Delta X_{i1}, \Delta X_{i2}, \dots, \Delta X_{in-m}$ 은 입력변수의 미분계수이며 $\Delta X_{o1}, \Delta X_{o2}, \dots, \Delta X_{om}$ 은 출력변수의 미분계수이다.

$$A(p, q) = -\frac{\partial f_p(\underline{X})}{\partial X_{iq}}$$

$$B(p, q) = \frac{\partial f_p(\underline{X})}{\partial X_{oq}}$$

식(3)에서 $[B]$ 를 좌측으로 전환하면 식(4)와 같다.

$$\left[C(m, n-m) \right] \left. \begin{array}{l} \Delta X_{i1} \\ \Delta X_{i2} \\ \vdots \\ \Delta X_{in-m} \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{l} \Delta X_{o1} \\ \Delta X_{o2} \\ \vdots \\ \Delta X_{om} \end{array} \right\} \quad \dots \quad (4)$$

이때, 행렬 $[C]$ 는 다음과 같다.

$$[C] = [B]^{-1} \cdot [A] \quad \dots \quad (5)$$

식(4)에서 특정한 출력변수(X_{om})에 대해 미분계수를 전개하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\Delta X_{0m} = & C(m, 1) \cdot \Delta X_{i1} + C(m, 2) \cdot \Delta X_{i2} \\ & + \dots + C(m, n-m) \cdot \Delta_{in-m} \\ & \dots \quad (6)\end{aligned}$$

식(6)에서 X_{om} 에 대한 X_{ik} 의 민감도는 $C(m,k)^{-1}$ 이며 민감도가 0인 경우 출력변수 X_{om} 에 영향을 주지 않았다는 말이 된다. 다시 말해 입력변수 X_{ik} 의 $C(m,k)^{-1}$ 만큼의 변화는 출력변수 X_{om} 의 값을 1만큼 변화시키는 결과를 준다.

특정 출력변수에 대한 입력 변수들의 영향력 여부는 민감도 해석으로 판별될 수 있으며 민감도가 크면 영향을 많이 미쳤고 작으면 영향을 적게 미쳤다는 의미가 된다.

연산되어 나온 특정 출력변수에 대해 설계자가 일정 값 만큼 변화를 요구할 때 민감도 해석에 의해 관련 설계 입력 변수를 찾고 이들 입력 변수의 값과 민감도 정도 그리고 설계자가 요구하는 출력 변수 값의 변화 정도를 서로 연관시켜 관련 입력 변수를 어느 정도 바꾸어야 할 것인가를 추정할

수 있다.

4. 결 론

국내 기계산업의 기술축적과 생산성 향상을 위하여 설계기술의 자동화를 위한 CAD/CAE 기술개발은 필수적 요소이다. 본 논문에서는 전문가 CAD시스템의 개발기법을 위하여 입력변수의 자동추론으로 설계 경우의 자동결정을 위한 Case-Building 기법을 간략히 소개하였다. 또, 입력변수에 의해 결정되는 출력변수와 설계자의 의도 및 설계조건을 만족할 때 까지 반복적으로 수행되는 재설계 과정의 자동화를 모색하기 위한 설계변수들의 상호 영향관계를 설정하여 민감도 해석 기법의 근간을 구성하였다.

본 논문에 제시한 민감도 해석 기법을 이용하면, 입력변수들에 대한 출력변수의 변환관계를 용이하게 유추 할 수 있으므로 재설계단계에서 많은 시간과 경비를 절감할 수 있으며, 설계 과정의 개괄적 흐름도 분석할 수 있는 장점이 있어, 전문가 CAD기법을 통한 설계자동화 개발에 진일보할 것으로 판단된다.



『참고문헌』

- Shook, W.B., "Helical Spring Design," Master thesis, The Ohio State University, 1983.
- 류갑상, 신중호, 범진환, "기계요소 자동설계를 위한 민감도 해석기법", 88년도 춘계 한국 정보학회 학술회의, 1988.