

Expert CAD 기술화를 위한 자동설계 경우의 추론에 관한 연구

신 중 호* · 류 갑 상*

Study on Determination of Automatic Design Cases for Expert CAD Technology

Joong-Ho, Shin* Gab-Sang, Ryu*

ABSTRACT

This paper introduces a case-building algorithm which can determine automatically a desired design case by categorizing known-variables and unknown-variables among design variables. Common CAD programs use a case-selection technique, where a programmer sets initially a few of design cases and then users can only choose one of the given cases. The case-building technique is a powerful tool for the expert computer-aided design technology.

1. 서 론

최근에 들어 컴퓨터를 이용한 기계류의 자동설계 및 해석을 위한 대화식 전문가 CAD 소프트웨어 개발에 관심이 모아지고 있다. 이

들 연구에서는 설계자에 의해 입력된 설계 입력변수 (Known variables for design)로부터 관련 설계식과 제약조건을 만족하는 최적 설계 미지변수 (Unknown variables)를 계산해 내는 일련의 과정을 문제 해결로 보고 있다.¹⁾

본 논문에서는 대화식 전문가 CAD 소프트

* 창원본소 CAD/CAM室, Member of CAD/CAM Lab.

웨어(그림 1) 개발시 요구되는 첫 단계인 Planning 루틴에 적용 가능한 Case-building 기법에 대해 연구하고, 이를 Bit-map 방식을 활용한 실지 프로그램내의 구현에 따르는 기술적인 내용과 수치해석적으로 고려해야 할 사항들을 기술하고자 한다.

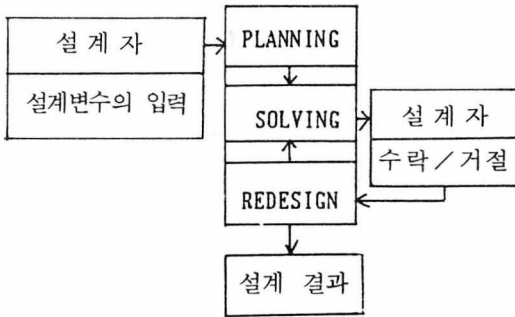


그림 1. 대화식 전문가 CAD S/W의 구조

2. Case-building 기법

2.1 소개

대부분의 기계류 설계프로그램들에 있어, 관련설계 변수들의 수 (N)는 해당 설계방정식의 수 (M)보다 일반적으로 많다. 따라서 대화식 설계 프로그램은 설계자로 하여금 최고 $N-M$ 개의 설계변수에 대한 수치 값을 입력하도록 요구하게 된다. 이에 따라 나머지 미지의 설계변수를 프로그램 내에서 추론하는 것이 요구된다.

중전에는 설계 프로그램내에 한정된 수의 가능한 설계 경우들 (Design cases)을 미리 선정해 놓고 설계자에 의해 입력된 $N-M$ 개의 설계변수들을 조합한 후, 그중 적합한 설계의 경우를 선택하면 그 설계 경우에 대응되는 수치해석 루틴을 호출하여 나머지 미지 변수 값을 찾도록 하였다.²⁾

그러나 위와 같은 방법은 모든 설계가능한 경우들을 고려하지 못하기 때문에 설계자가 원하는 결과의 유추가 어렵다. 뿐만 아니라 설사 설계 경우가 모두 고려된다고 해도 설계의 경우수가 급격히 증가한다. 예를 들면 설계변수

가 8개이고 설계식이 4개인 경우 설계자가 설정해야 할 4개의 설계 입력변수의 결정에 대한 설계 경우는 $8C_4$ 의 경우이며 이는 무려 70가지의 경우가 존재한다. 이에따라 프로그램 양은 급격히 증가하여 그에 따른 관리가 어려워져 효과적인 CAD프로그램의 개발을 어렵게 하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서 소개하는 Case-building 기법은 사용자에 의해 입력된 $N-M$ 개의 설계 입력변수 및 관련 설계식을 이용하여 나머지 관련 설계미지 변수들을 추론하고, 이에 따른 설계 경우를 자동적으로 구축하도록 한다. 그 결과 설계자가 원하는 최적의 기계류 설계 및 해석이 가능하고, 프로그램 관리가 용이한 대화식 전문가 CAD 프로그램의 입력 및 Planning 루틴 설계를 가능케 한다.

2.2 이론적 고찰

N 개의 설계변수와 M 개의 설계방정식으로 표현되는 기계류의 설계식은 설계자에 의해 $N-M$ 개의 설계 입력변수 (Known variables)가 주어지면 이들 설계변수와 관련 설계 방정식의 연관관계에 의해 나머지 M 개의 미지 설계변수 (Unknown variables)는 추론이 가능하다는 단순이론에 근거하여 Case-building 기법은 시작된다.

이러한 이론은 설계할 기계류 부품의 관련변수 및 방정식 등을 다음과 같이 집합의 개념을 이용하여 보다 논리적으로 표현된다.

- $\{X\}$: 설계변수의 총집합
 $= \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$
- $\{E\}$: 설계방정식의 집합
 $= \{f_1, f_2, \dots, f_M\}$
- $\{C\}$: 설계제약조건의 집합
- $\{I\}$: 입력된 설계변수의 집합
- $\{D\}$: 출력된 설계변수의 집합
- $\{K\}$: 설계자에 의해 주어진 변수 집합
- $\{U\}$: 미지변수의 집합

이라 정의하면

$$\{I\} \cup \{D\} \subseteq \{X\}$$

$$\{K\} \leftarrow \{I\}$$

$$\{U\} \leftarrow \{D\} \text{가 된다.}$$

또 미지변수를 i 번의 과정을 거쳐 추론하는

함수 S_i 는

$$S_i : \{K_i\} \leftarrow \{U_i\}$$

$$\{K_i\} \subseteq \{K\}$$

$$\{U_i\} \subseteq \{U\} \text{로 표현된다.}$$

함수 S_i 에 의해 U_i 가 추론되면

$$\{K\} \leftarrow \{K\} \cup \{U_i\}$$

$$\{U\} \leftarrow \{U\} - \{K_i\}$$

가 되어 K 는 차츰 커져가는 반면 U 는 줄어들게 된다. 이러한 과정을 반복하다 보면 $\{U\}$ 는 ϕ 로 되어 추론이 끝나게 된다.

주어진 제약조건 $\{C\}$ & $\{E\}$ 을 만족하면서 $\{I\}$ 로부터 $\{D\}$ 를 추론해 가는 일련의 과정을 그림 1 의 Planning 루틴이라 하며, 이 루틴이 수행되는 동안 Case-building 기법에 의해 설계변수의 모든 값이 결정되게 된다.

2.3 구 현

Powerscrew 는 10 개의 주요 설계변수와 5 개의 설계방정식 (식 1) 으로 설계 및 해석이 가능한 기계요소이다. 본 절에서는 이들 설계식과 변수들을 사용하여 Case-building 기법을 프로그래밍하는 과정을 기술한다.

$$\left. \begin{aligned} f_1(D_i, P, W, T) &= 0 \\ f_2(D_i, P, A) &= 0 \\ f_3(D_i, P, W, Sf) &= 0 \\ f_4(P, T, V_v, P_w) &= 0 \\ f_5(D_i, W, L, S_b) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

식 1 은 각 설계방정식 내의 설계변수 존재 여부를 표시하는 0 과 1 의 Bit 로 구성된 다음의 Bit-map 으로 표현된다.

	D_i	P	W	Sf	T	A	V_v	P_w	L	S_b	합
f_1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	4
f_2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	3
f_3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
f_4	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	4
f_5	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4
합	4	4	3	1	2	1	1	1	1	1	19

설계자는 터미널 스크린에 나타난 설계변수 선택메뉴를 보고, 수치값을 알고 있는 설계입력변수 D_i 를 선택하여 수치값을 입력한다. 그러면 선택된 입력변수 D_i 는 Map 에서 지워지고 선택된 변수가 포함된 각 열의 미지변수합

을 1 씩 줄여 새로운 Bit-map 3 이 구축된다.

	P	W	Sf	T	A	V_v	P_w	L	S_b	합
f_1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3
f_2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
f_3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
f_4	1	0	0	1	0	1	1	0	0	4
f_5	0	1	0	0	0	0	0	1	1	3
합	4	3	1	2	1	1	1	1	1	

구축된 Map 3 을 이용하여 추론이 가능한 설계변수들을 검색하게 되는데 다음의 경우를 만족하는 변수들은 추론이 되어진다.

1. 방정식에 미지변수가 하나인 경우
2. 두개의 같은 미지변수가 두개의 방정식에 존재하는 경우
3. 세개의 같은 미지변수가 세개의 방정식에 존재하는 경우 등등

추론될 변수와 관련 방정식을 결정하는 제어의 흐름은 그림 2 에 나타나 있다.

Map 3 에는 위의 조건을 만족하는 설계변수와 설계식이 없어 추론이 불가능하다. 따라서 설계자에게 다른 설계 입력변수 P 를 선택하도록 한다. 이때 만일 설계자가 입력변수 P 를 선택하면 Map 3 에서 P 를 제거한 새로운 Map 4 가 구성된다.

	W	Sf	T	A	V_v	P_w	L	S_b	합
f_1	1	0	1	0	0	0	0	0	2
f_2	0	0	0	1	0	0	0	0	1
f_3	1	1	0	0	0	0	0	0	2
f_4	0	0	1	0	1	1	0	0	3
f_5	1	0	0	0	0	0	1	1	3
합	3	1	2	1	1	1	1	1	11

Map 4 에서 설계식 f_2 는 변수 A 만을 포함함으로써 미지변수 A 는 추론될 수 있어 추론변수로 기억되며 설계식 f_2 와 미지변수 A 는 제거되어 새로운 Map 5 가 구축된다.

	W	Sf	T	V_v	P_w	L	S_b	합
f_1	1	0	1	0	0	0	0	2
f_3	1	1	0	0	0	0	0	2
f_4	0	0	1	1	1	0	0	3
f_5	1	0	0	0	0	1	1	3
합	3	1	1	1	1	1	1	10

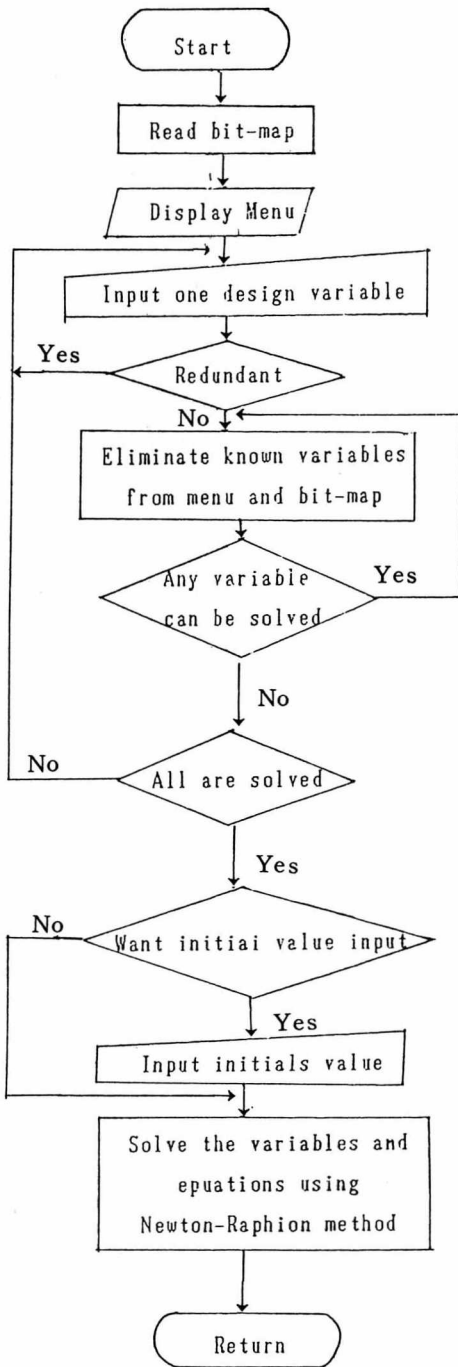


그림 2. Case-Building Flow-Chart

Map 5에서 설계자가 입력변수 W 를 선택하

면 미지변수 T 와 Sf 는 추론될 수 있어 추론 변수로 기억되며, 설계식 $f1$ 과 $f3$ 그리고 미지변수 T, Sf 는 제거되어 새로운 Map 6이 구축된다.

	Vv	Pw	L	Sb	합
$f4$	1	1	0	0	2
$f5$	0	0	1	1	2
합	1	1	1	1	4

.....(6)

이러한 과정을 미지 변수가 모두 추론이 될 때까지 수행하게 되는데, 다섯개의 선택된 설계변수 (Di, P, W, Vv, Sb)에 의해 다섯개의 미지변수 (A, Sf, T, Pw, L)가 추론되게 된다.

3. 적 용 예

그림 3~5는 Case-building 기법을 구현한 예이며 설계자로 하여금 올바른 설계 입력변수를 선택할 수 있도록 설계자에 의해 입력된 변수는 단일선으로, 추론된 변수는 이중선으로 표시하도록 하였다.

```

*** DESIGN VARIABLES ***

1) B ← (IMMER-BIA ← IMEI) -----
2) P ← (PIFEI ← IMEI) -----
3) W (LOAD, LBS)
4) Sf (SAFETY FACTOR)
5) T (TORQUE, INCH-POUND)
6) A ← (HEIX ← ANGE ← BEG) =====
7) W (NUT VELOCITY, FT/MIN)
8) Pw (POWER, H.P)
9) L (SCREW LENGTH, INCH)
10) Sb (SAFETY FAC. (BUCKL.))
11) EXIT

Variable No. = 1
D = 5

Variable No. = 2
P = 8.5
    
```

그림 3 설계변수의 선택 (과정 1)

그림 3에서 사용자가 2개의 압력변수 D 와 P 를 선택할 때 입력변수에 의해 자동추론되는 변수 A 는 메뉴상에서 제거된다. 그림 4에서는 입력변수 W 가 지정되면 현재까지 입

```

*** DESIGN VARIABLES ***

1) D = (INNER-DIA--INCH)-----
2) P = (PITCH--INCH)-----
3) W = (LEAD--EDG)-----
4) Sf = (SAFETY-FACTOR)=====
5) F = (TORQUE--INCH-POUNDS)=====
6) A (HELIX ANGLE , DEG)
7) W (NUT VELOCITY , FT/MI:)
8) Pw (POWER , H.P)
9) L (SCREW LENGTH , INCH)
10) Sb (SAFETY FAC.(BUCKL.)
11) EXIT

Variable No. = 1
D = 5

Variable No. = 2
P = 0.5

Variable No. = 3
W = 20000
    
```

그림 4. 설계변수의 선택 (과정 2)

력된 변수들 D, P 와 W 에 의해 자동 추론되는 Sf 변수가 메뉴에서 제거된다. 그림 5에서와 같이 Vv 가 입력되면 추론변수 T 와 Pw 가 제거되어, 아직까지 미추론된 변수들은 2개 (L 과 Sb) 만이 존재한다.

끝으로 그림 6에서 사용자가 입력변수로서 L 을 선택하면 5개의 입력변수 (D, P, W, Vv, L)의 지정으로 나머지 요구되는 5개의 설계변수 (W, Sf, T, Pw, Sb)가 추론됨을 보여준다.

설계방정식 내의 설계변수에 대한 추론이 완료되면 추론된 변수의 근을 계산하는 수치해석 기법이 요구된다. 본 논문에서는 대부분의 설계방정식들이 비선형 방정식으로 되어 있어 공학적으로 많이 쓰이면서도, 수렴속도가 가끔 빠르 Newton-raphson 방법을 사용하였다.

그러나 설계방정식의 복잡도나 주어진 변수의 초기값에 따라 근에 수렴하는 정도가 달라지기 때문에 설계식을 단순화하고, 초기값 및 증분치 값을 적절히 제한하는 것이 필요하며 설계자의 요구에 따라 초기치 값을 입력 가능토록 하여 최대한 근에서 발산해 가는 가능성을 줄이도록 하고 있다.

```

*** DESIGN VARIABLES ***

1) D = (INNER-DIA--INCH)-----
2) P = (PITCH--INCH)-----
3) W = (LEAD--EDG)-----
4) Sf = (SAFETY-FACTOR)=====
5) F = (TORQUE--INCH-POUNDS)=====
6) A = (HELIX ANGLE--DEG)=====
7) W (NUT VELOCITY--FT/MI)----
8) Pw = (POWER--HP)=====
9) L (SCREW LENGTH , INCH)
10) Sb (SAFETY FAC.(BUCKL.)
11) EXIT

Variable No. = 1
D = 5

Variable No. = 2
P = 0.5

Variable No. = 3
W = 20000

Variable No. = 7
W = 4
    
```

그림 5. 설계변수의 선택 (과정 3)

```

*** DESIGN VARIABLES ***

1) D = (INNER-DIA--INCH)-----
2) P = (PITCH--INCH)-----
3) W = (LEAD--EDG)-----
4) Sf = (SAFETY-FACTOR)=====
5) F = (TORQUE--INCH-POUNDS)=====
6) A = (HELIX ANGLE--DEG)=====
7) W (NUT VELOCITY--FT/MI)----
8) Pw = (POWER--HP)=====
9) L = (SCREW LENGTH--INCH)----
10) Sb = (SAFETY-FACTOR--BUCKLE)=====
11) EXIT

Variable No. = 1
D = 5

Variable No. = 2
P = 0.5

Variable No. = 3
W = 20000

Variable No. = 7
W = 4

Variable No. = 9
L = 7
    
```

그림 6. 설계변수의 선택 (과정 4)

4. 결 론

대화식 전문가 CAD 프로그램 설계시 설계자와 프로그램간에 이루어지는 입력메카니즘을 종래의 정적인 설계 경우의 나열식에서 동적인 설계 경우 구축식으로의 전환을 가능케 할 Case-building 기법을 제시하였다.

본 기법은 CAD S/W 개발에 적용되어 프

로그램 자체의 입력기능을 인공 지능화 시키고 종래의 문제가 되었던 설계경우의 제한으로 인한 설계의 제약성을 해결하였다. 이로서 보다 설계자의 요구를 만족시킬 수 있는 성능좋은 대화식 CAD 소프트웨어의 개발이 용이하게 되었다. 본 연구는 미지계수의 근을 계산하는 수치해석법을 더욱 보강함으로써 보다 완벽한 대화식 전문가 CAD 소프트웨어의 입력 루틴이 되리라 기대된다.

≪References≫

- 1) R.C. Juvinall, "Fundamentals of Machine Component Design" John Wiley and Sons, 1983.
- 2) William B. Shook, "Helical Spring Design Program Master's thesis, O.S.U., 1983.
- 3) C.F. Gerald and P.O. Wheatley, "Applied Numerical Analysis" Addison Wesley, 1984.
- 4) Elaine Rich, "Artificial Intelligence" McGraw-Hill, 1983, pp.25-131.