

대화식 전문가 CAD S/W 개발을 위한 Case-Building 기법 연구 및 구현

○ \* \*  
류 감 상 , 신 증 호

\* 한국기계연구소, CAD/CAM실, 창원, 경상남도

Development of Case-Building Algorithm for Interactive and Expert CAD Technology

Gab-sang Ryu and Joong-ho Shin

CAD/CAM Lab., KIMM, Changwon, kyungnam

ABSTRACT

This paper presents a case-building algorithm which can control the design variables of which some variables are designated as the input (known) variables and the remainders are defined as the output (unknown) variables. The case-building algorithm can enhance the design ability by categorizing design case automatically. Common CAD programs for analysis and design of machine elements use a case-selection technique, where a programmer set initially a few of design cases and users can only choose one of given cases. This paper also demonstrates the case-building algorithm by applying into CAD programs for power-screw design.

1. 서론

최근에 들어 컴퓨터를 이용한 기계류의 자동 설계 및 해석을 위한 대화식 전문가 CAD 소프트웨어 개발에 관심이 모아지고 있다. 이들 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 보고있다. [1,2]

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 변수에 대한 수치 값을 입력하도록 요구하게 된다. 이에 따라 나머지 미지의 설계 변수를 프로그램 내에서 추론 하는게 요구된다.

종전에는 설계 프로그램내에 한정된 수의 가능한 설계 경우들(Design Cases)을 미리 선정 해 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 변수 값을 찾도록 하였다. [3] 그러나 위와 같은 방법은 모든 설계 가능한 경우들을 고려하지 못하기 때문에 설계자가 원하는 결과의 유추가 어렵다. 뿐만 아니라 설사 설계경우가 모두 고려 될 경우 설계의 경우수는 급격히 증가하게된다. 예를 들면 설계변수가 8개이고 설계식이 4개인 경우 설계자가 설정 해야할 4개의 설계 입력변수의 결정에 대한 설계 경우는  $8C4$  의 경우이며 이는 무려 70가지의 경우가 존재한다. 이에따라 프로그램 양은 급격히 증가하여 프로그램 관리가 어려워져 효과적인 CAD 프로그램의 개발을 어렵게 하였다.

이러한 문제점을 해결 하기위해 본 논문에 소개하는 Case-Building 기법은 사용자에 의해 입력된 N-M개의 설계 입력변수 및 관련 설계식을 이용하여 나머지 관련 설계 미지변수들을 추론하고, 이에 따른 설계 경우를 자동적으로 구축 하도록 한다. 그 결과 설계자가 원하는 최적의 기계류 설계 및 해석이 가능하고, 프로그램 관리가 용이한 대화식 전문가 CAD 프로그램의 입력 루틴 설계를 가능케 한다.

2. Case-Building 기법

N개의 설계변수에 의해 M개의 설계식으로 표현되는 기계류의 설계식은 설계자에 의해 N-M 개의 설계 입력변수(Known Variables)가 주어지면 이들 설계 변수와 관련 설계 방정식의 연관관계에 의해 나머지 M개의 미지 설계변수(Unknown Variables)는 추론이 가능하다는 단순이론에 근거하여 Case-Building 기법은 시작된다. 이러한 이론은 설계할 기계류 부품의 관련 변수 및 방정식들을 다음과 같이 집합의 개념을 이용하여 보다 논리적으로 표현 할 수 있다.

- (X) : 설계변수의 총 집합  
= {x1, x2, x3, ..., xN}
- (E) : 설계 방정식의 집합  
= {f1, f2, ..., fM}
- (C) : 설계 제약요건의 집합
- (I) : 입력된 설계변수의 집합
- (D) : 출력된 설계변수의 집합
- (K) : 설계자에 의해 주어진 변수 집합
- (U) : 미지변수의 집합

|    | D | P | W | Sf | T | A | Vv | Pw | L | Sb | 합  |
|----|---|---|---|----|---|---|----|----|---|----|----|
| f1 | 1 | 1 | 1 | 0  | 1 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 4  |
| f2 | 1 | 1 | 0 | 0  | 0 | 1 | 0  | 0  | 0 | 0  | 3  |
| f3 | 1 | 1 | 1 | 1  | 0 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 4  |
| f4 | 0 | 1 | 0 | 0  | 1 | 0 | 1  | 1  | 0 | 0  | 4  |
| f5 | 1 | 0 | 1 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0  | 1 | 1  | 4  |
| 합  | 4 | 4 | 3 | 1  | 2 | 1 | 1  | 1  | 1 | 1  | 19 |

(2)

이라 정의하면

- (I) U (D) ⊆ (X)
- (K) → (I)
- (U) → (D) 가 된다.

또 미지변수를 1번의 과정을 거쳐 추론하면 함수 S1는

- S1 : {Ki} → {Ui}
- {Ki} ⊆ {k}
- {Ui} ⊆ {U} 로 표현된다.

함수 S1에 의해 Ui가 추론되면

- {K} ← {K} U {Ui}
- {U} ← {U} - {Ki}

가 되어 K는 차츰 커져가는 반면 U는 줄어들게 된다. 이러한 과정을 반복하다 보면 {U}는 0로 되어 추론이 끝나게 된다. 주어진 제약조건 (C) & (E)을 만족하면서 {I}로 부터 {D}를 추론해 가는 일련의 과정이 수행되는 동안 Case-Building 기법에 의해 설계 변수의 모든 값이 결정되게 된다.

3. 구현

Powerscrew는 10개의 주요 설계변수와 5개의 설계식(식1)으로 설계 및 해석이 가능한 기계요소이다. 본 장에서는 이들 설계식과 변수들을 사용하여 Case-Building 기법을 프로그래밍 하는 과정을 기술한다.

- f1(D1, P, W, T)=0
- f2(D1, P, A)=0
- f3(D1, P, W, Sf)=0
- f4(P, T, Vv, Pw)=0
- f5(D1, W, L, Sb)=0

(1)

식 1은 각 설계 방정식내의 설계변수 존재 여부를 표시하는 0 과 1의 비트(bit)로 구성된 다음의 Bit-Map으로 표현 된다.

설계자는 터미널 스크린에 나타난 설계변수 선택 메뉴를 보고, 수치값을 알고있는 설계 입력변수 (Di)를 선택하여 수치값을 입력한다. 그러면 선택된 입력변수(Di)는 Map에서 지워지고 선택된 변수가 포함된 각 열의 미지변수 합을 1씩 줄여 새로운 Bit-Map 3이 구축된다.

|    | P | W | Sf | T | A | Vv | Pw | L | Sb | 합  |
|----|---|---|----|---|---|----|----|---|----|----|
| f1 | 1 | 1 | 0  | 1 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 3  |
| f2 | 1 | 0 | 0  | 0 | 1 | 0  | 0  | 0 | 0  | 2  |
| f3 | 1 | 1 | 1  | 0 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 3  |
| f4 | 1 | 0 | 0  | 1 | 0 | 1  | 1  | 0 | 0  | 4  |
| f5 | 0 | 1 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0  | 1 | 1  | 3  |
| 합  | 4 | 3 | 1  | 2 | 1 | 1  | 1  | 1 | 1  | 15 |

(3)

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

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

추론될 변수와 관련 방정식을 결정하는 제어의 흐름은 그림1에 나타나 있다.

Map 3에는 위의 조건을 만족하는 설계변수와 설계식이 없으므로 설계자에게 다른 설계 입력변수를 선택 하도록한다. 이때 만일 설계자가 입력변수 P를 선택하면 Map 3에서 P를 제거한 새로운 Map 4가 구성된다.

|    | W | Sf | T | A | Vv | Pw | L | Sb | 합  |
|----|---|----|---|---|----|----|---|----|----|
| f1 | 1 | 0  | 1 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 2  |
| f2 | 0 | 0  | 0 | 1 | 0  | 0  | 0 | 0  | 1  |
| f3 | 1 | 1  | 0 | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 2  |
| f4 | 0 | 0  | 1 | 0 | 1  | 1  | 0 | 0  | 3  |
| f5 | 1 | 0  | 0 | 0 | 0  | 0  | 1 | 1  | 3  |
| 합  | 3 | 1  | 2 | 1 | 1  | 1  | 1 | 1  | 11 |

(4)

Map 4에서 설계식 f2는 변수 A만을 포함하므로서 미지변수 A는 추론될수 있어 추론변수로 기억되며, 설계식 f2와 미지변수 A는 제거되어 새로운 Map 5가 구축된다.

|    | W | Sf | T | Vv | Pw | L | Sb | 합  |
|----|---|----|---|----|----|---|----|----|
| f1 | 1 | 0  | 1 | 0  | 0  | 0 | 0  | 2  |
| f3 | 1 | 1  | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 2  |
| f4 | 0 | 0  | 1 | 1  | 1  | 0 | 0  | 3  |
| f5 | 1 | 0  | 0 | 0  | 0  | 1 | 1  | 3  |
| 합  | 3 | 1  | 2 | 1  | 1  | 1 | 1  | 10 |

(5)

Map 5에서 설계자가 입력변수 W를 선택하면 미지변수 T와 Sf는 각각 f1과 f3에서 추론될수 있어 추론변수로 기억되며, Map 5에서 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 될때 까지 수행 하게 되는데, 다섯개의 선택된 설계변수 (D, P, W, Vv, Sb)에 의해 다섯개의 미지변수 (A, Sf, T, Pw, L)가 추론 되게 된다.

#### 4. 적용 예

그림 2 - 5는 Case-Building 기법을 구현한 예이며 설계자로 하여금 올바른 설계 입력변수를 선택 할수 있도록 설계자에 의해 입력된 변수는 단일선으로, 추론된 변수는 이중선으로 스크린상의 선택 메뉴에 표시 하도록 하였다.

그림2에서 사용자가 2개의 입력변수 D와 P를 선택할때 입력변수에 의해 자동 추론되는 변수는 메뉴상에서 제거된다. 그림3에서는 입력변수 W가 지정되면 현재까지 입력된 변수들 D, P, W에 의해 자동 추론되는 변수가 메뉴에서 제거된다.

그림4에서와 같이 Vv가 입력되면 추론변수 T와 Pw가 제거되어 아직까지 미 추론된 변수들은 2개(L, Sb)만이 존재한다. 끝으로 그림5에서 사용자가 입력변수로서 L를 선택하면 5개의 입력변수 (D, P, W, Vv, L)의 지정으로 나머지 요구되는 5개의 설계변수(W, Sf, T, Pw, Sb)가 추론됨을 보여준다.

설계 방정식내의 설계 변수에 대한 추론이 완료되면 추론된 변수의 근을 계산하는 수치 해석 기법이 요구된다.

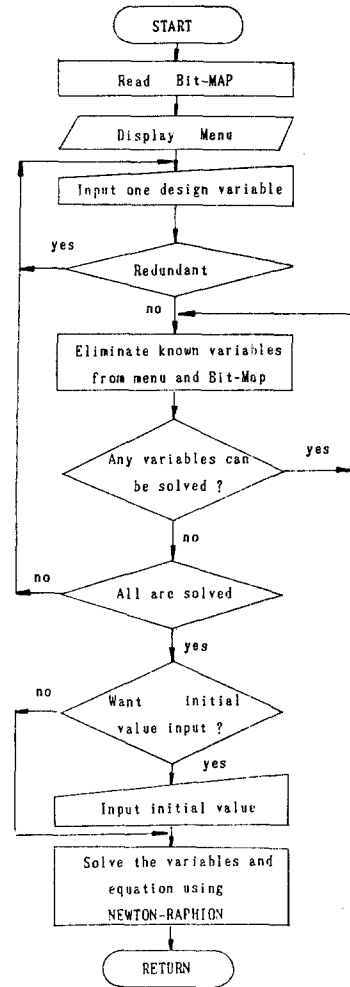


그림 1. Case-Building Flow-Chart

```

*** DESIGN VARIABLES ***
1) D--(DIAMETER--INCH)-----
2) P--(POWER--H.P)-----
3) W (LOAD, LBS)
4) Sf (SAFETY FACTOR)
5) T (TORQUE, INCH-POUND)
6) A--(AXIAL STRESS--KSI)-----
7) U.(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 2. 설계 변수의 선택 (과정 1)

기계류의 설계에서는 설계식들이 대부분 비선형 방정식으로 되어 있어 공학적으로 가장 많이 쓰이면서도, 수렴 속도가 비교적 빠른 Newton-Raphson 방법(4)을 사용하였다. 그러나 설계 방정식의 복잡도나 주어진 변수의 초기값에 따라 근에 수렴하는 정도가 달라 지기 때문에, 설계식을 단순화 하고, 초기값 및 증분치 값을 적절히 제한 하는게 필요하며 설계자의 요구에 따라 초기치 값을 입력 가능토록 하여 최대한 근에서 발산 해 가는 가능성을 줄이도록 하고 있다.

```

*** DESIGN VARIABLES ***
1)-B1-(IMMER-BIA--IMEI)-----
2)-P--(PIFEI--IMEI)-----
3)-W--(LBAB--LDC)-----
4)-Sf--(SAFETY-FACTOR)-----
5)-F--(TORBE--INEM-PBWB)-----
6) A (HELIX ANGLE, DEG)
7) U (NUT VELOCITY, FT/MIN)
8) Pw (POLER, 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 3. 설계 변수의 선택 (과정 2)

```

*** DESIGN VARIABLES ***
1)-B1-(IMMER-BIA--IMEI)-----
2)-P--(PIFEI--IMEI)-----
3)-W--(LBAB--LDC)-----
4)-Sf--(SAFETY-FACTOR)-----
5)-F--(TORBE--INEM-PBWB)-----
6) A (HELIX ANGLE, DEG)
7) U (NUT VELOCITY, FT/MIN)
8) Pw (POLER, 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

Variable No. = 7
U = 4

```

그림 4. 설계 변수의 선택 (과정 3)

```

*** DESIGN VARIABLES ***
1)-B1-(IMMER-BIA--IMEI)-----
2)-P--(PIFEI--IMEI)-----
3)-W--(LBAB--LDC)-----
4)-Sf--(SAFETY-FACTOR)-----
5)-F--(TORBE--INEM-PBWB)-----
6) A (HELIX ANGLE, DEG)
7) U (NUT VELOCITY, FT/MIN)
8) Pw (POLER, 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

Variable No. = 7
U = 4

Variable No. = 9
L = 7

```

그림 5. 설계 변수의 선택 (과정 4)

### 5. 결론

대화식 전문가 CAD 프로그램 설계시 설계자와 프로그램간에 이루어 지는 입력 메카니즘을 종래의 정적인 설계 경우의 나열 방법에서 동적인 설계 경우 구축 방법으로의 전환을 가능케 할 Case-Building 기법을 제시하였다.

본 기법은 CAD S/W 개발에 적용되어 프로그램 자체의 입력 기능을 인공 지능화 시키고 종래의 문제가 되었던 설계 경우의 제한 으로 인한 설계의 제약성을 해결 하였다. 이로 인해 보다 설계자의 요구를 만족 시킬 수 있는 성능 좋은 대화식 CAD 소프트웨어의 개발이 용이 하게 되었다. 본 연구는 미지 계수의 근을 계산 하는 수치 해석법을 더욱 보강 하므로써 완벽한 대화식 전문가 CAD 소프트웨어의 입력 루틴이 기대된다.

### 참고문헌

1. R.C Jurinal, "Fundamentals of Machine Component Design", John Wiley and Sons, 1983
2. J. E. Shigley, "Mechanical Engineering Design", McGRAW-Hill, P. 231-237, 1977
3. William B. Shook, "Helical Spring Design Program", Master's thesis, O.S.U, 1983
4. C.F. Gerald and P.O.W Heatley, "Applied Numerical Analysis", Addison Wesley, 1984