

# 상용프로그램을 사용한 트러스 구조물 근사최적설계 GUI 환경 개발

## Development of GUI Environment Using a Commercial Program for Truss Structure of Approximate Optimization

임 오 강†

Lim, O-Kaung

이 경 배\*

Lee, Kyung-Bae

(논문접수일 : 2003년 7월 25일 ; 심사종료일 : 2003년 12월 9일)

### 요 지

본 연구에서는 순차 설계영역(SDD: Sequential Design Domain) 개념을 사용한 GUI(Graphic User Interface)환경 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 상용프로그램인 ANSYS와 최적설계 프로그램인 PLBA(Pshenichny-Lim-Belegundu-Arora)를 연결하고 비주얼 베이직을 이용하여 GUI환경에서 사용자가 초기값과 입력파일을 작성하고 결과를 확인할 수 있도록 하였다. 프로그램의 신뢰도를 검증하기 위해서 3부재 및 5부재 트러스 구조물을 수치예제로 선정하여 해석하였다.

**핵심용어** : 근사최적설계, 순차설계영역, GUI환경, 반응표면법, 요인배치법, 직교 배열표

### Abstract

In this paper, an approximate optimization program based on GUI(graphic user interface) environment is developed. This program is coded by using Fortran and Visual basic. Fortran is used to progress approximate optimization process. Visual basic is used to make user environment for user to use conveniently. Inside of this program, it uses two independent programs. One is commercial program, ANSYS, and the other is optimization program, PLBA(Pshenichny-Lim-Belegundu-Arora). The former is used to obtain approximate equation of stress and displacement of a structure. The latter is used to solve approximate optimization. This algorithm uses second-order information of a function and active set strategy. This program is connecting ANSYS and PLBA. And it progress the process repeatedly until it obtain optimum value. As a method of approximate optimization, sequential design domain(SDD) is introduced. SDD starts with a certain range which is offsetted from midpoint of an initial design domain and then SDD of the next step is determined by optimal point of a prior step.

**Keywords** : *approximate optimization, sequential design domain, GUI environment, response surface methodology, full factorial design, orthogonal array*

### 1. 서 론

최근 컴퓨터 기술과 수치 계산법의 발달로 컴퓨터를 이용한 수치적 최적화 방법이 광범위하게 개발되었다. 컴퓨터는 복잡한 문제에서 다량의 계산과 자료를 빠르고 비교적 정확하게 처리하는 것을 가능하게 해주었다. 이러한 컴

퓨터의 장점을 이용한 수많은 최적화 알고리즘들이 개발되어 공학설계에 응용되고 있다.<sup>1)</sup>

최근의 최적설계 분야에서는 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 사용자 환경 개발을 위한 노력이 병행되고 있다. 그러나 기존의 연구는 설계자들이 최적해를 구하기 위해 최적설계 프로그램의 부 프로그램으로 구조해석 프로그램

† 책임저자, 정회원 · 부산대학교 기계공학부 기계기술연구소 교수  
전화: 051-510-2306; Fax: 051-582-9164

E-mail: okim@pusan.ac.kr

\* 부산대학교 기계설계공학과 석사

• 이 논문에 대한 토론을 2004년 3월 31일까지 본 학회에 보내주  
시면 2004년 6월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

을 이용하여 시스템의 응답량을 구해야 한다.<sup>2)</sup> 대부분의 설계자들은 구조해석 프로그램을 작성하는 것이 어렵거나 불가능하기 때문에 시스템의 응답량을 구하는 범용 프로그램을 최적설계 프로그램에 연결시키는 것이 필요하다.

본 연구에서는 순차 설계영역(SDD : Sequential Design Domain)<sup>3)</sup> 개념을 사용한 GUI(Graphic User Interface)환경 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 상용프로그램인 ANSYS와 최적설계 프로그램인 PLBA(Pshenichny-Lim-Belegundu-Arora)<sup>4)</sup>를 연결하고 비주얼 베이직을 이용하여 GUI환경에서 사용자가 초기값과 입력과일을 작성하고 결과를 확인할 수 있도록 하였다.

## 2. 근사최적설계

순차 근사 최적은 Schmit와 Farshi에 의해서 제안되었다.<sup>5)</sup> 순차 근사 최적은 제약조건으로 이용되어지는 응력이나 변위에 대한 근사식을 만드는데 필요한 정보를 얻기 위해 구조해석을 일차적으로 수행한다. 그런 다음 몇 가지의 해석결과를 이용하여 근사식을 구하고 최적설계 알고리즘에 적용하여 최적해를 구하게 된다. 이런 과정은 수렴조건이 만족할 때까지 반복된다. 본 연구의 순차 근사 최적의 흐름을 그림 1에 나타내었다.

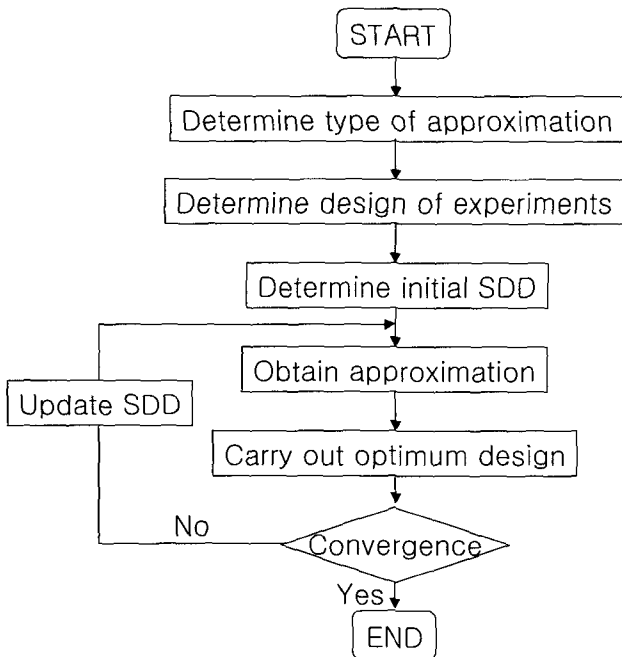


그림 1 Flowchart of sequential approximate optimization

### 2.1 순차설계영역

순차 설계영역은 각 스텝에서 근사식이 만들어질 설계영역으로 설계변수를 변화시켜 구한다. 첫 번째 스텝의 순차

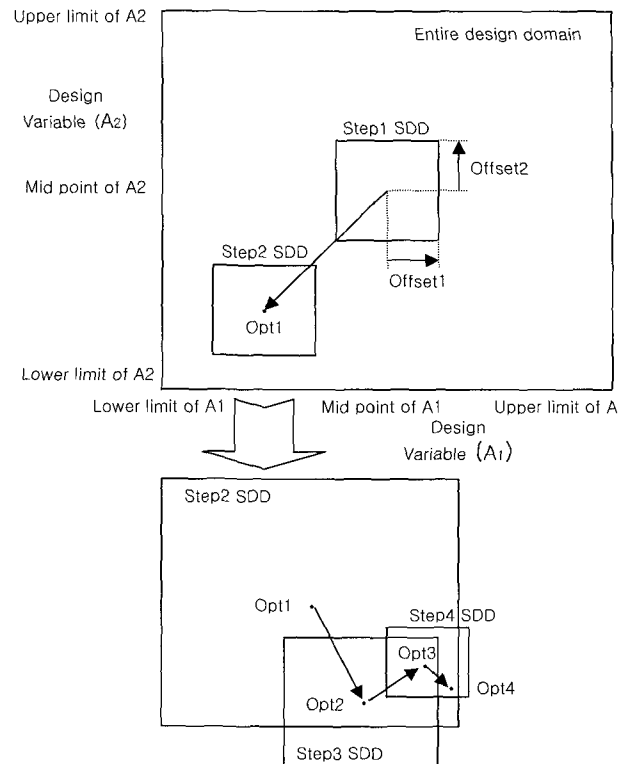


그림 2 Convergence criterion based on the change of optimum solution

설계영역은 설계변수의 상한과 하한 차에 의한 전체 설계영역의 10%에 해당하는 영역을 중간값을 기준으로 읍셋하여 구한다. 그리고 다음 스텝들의 순차 설계영역은 바로 이전 스텝에 수렴한 해를 기준으로 정하는데, 근사식의 정확도를 높이기 위해 수렴한 해가 이전의 스텝의 설계영역 안에 존재하면 설계영역을 50% 축소시키도록 한다. 설계영역을 축소시키는 이유는 근사식의 오차를 줄이기 위해서이다.

본 연구에서는 순차 근사 최적 알고리즘의 수렴조건으로서 최적해의 변화량에 대한 제한조건을 적용하였다. 스텝의 최적해 변화량이 일정 값 이하가 되면 순차 근사 최적 알고리즘은 수렴한다고 볼 수 있기 때문이다. 즉 스텝에서 얻어지는 최적해가 제한된 영역 내에 연속적으로 존재하면 수렴한다는 것이다. 본 연구에서의 최적해의 변화량을 제한한 수렴조건으로는 세 번의 스텝동안 연속적으로 순차 설계영역 내에 최적해가 존재하면 종료한다는 수렴조건을 제시하였다. 설계변수 개수가 2개인 최적설계 문제인 경우의 순차 설계 영역과 수렴조건을 그림 2에 나타내었다.

### 2.2 반응표면법

반응표면법은 개발과 개선 그리고 최적화 과정에 유용한 통계적인 방법으로 실제 산업현장에서는 몇 개의 설계변수가 공정이나 생산품의 성능과 질에 영향을 미치는 경우 주

로 이용된다.<sup>6)</sup> 반응표면법을 이용하여 근사식을 구하는 이유는 적은 노력과 비용으로 정확한 근사식을 얻는데 있다. 그러므로 설계자는 반응표면법을 이용하여 실제의 복잡한 시스템의 응답량에 대한 간단한 근사식을 얻을 수가 있다. 주로 사용되는 반응표면법에는 요인배치법과 직교배열표를 이용한 실험방법이 있다.

요인배치법은 관심영역을 균등하게 분할하여 모든 경우에 대하여 실험하는 방법으로 설계변수가  $n$ 개이고, 수준이  $r$ 일 경우 필요한 실험횟수는  $r^n$ 이 된다. 설계변수가 지수항에 있기 때문에 이 방법은 설계변수의 수가 3개 이하일 경우 많이 이용된다.<sup>7)</sup> 하지만 실험대상이 민감하거나 아주 높은 정밀도를 요구하는 경우에는 설계변수가 많을 경우라도 이 방법을 쓸 수밖에 없다. 설계변수 4개일 경우의 2수준 요인배치법은 각 설계변수의 하한과 상한에서 실험하게 되므로 16개의 실험점을 가지게 된다.

모든 열에 대하여 각 변수들의 균형을 맞추어 놓은 표를 직교배열표라고 한다. 직교배열표에는 2, 3, 4, 5 수준계와 혼합수준계 등이 있으나,<sup>8)</sup> 본 연구에서 이용되는 근사식에는 2수준과 3수준으로 충분하므로 2수준과 3수준의 직교배열표만 사용한다. 직교배열표를 이용하면 요인배치법, 중심합성계획법과 같이 각 설계변수에 대해 영향력을 고르게 분포시킬 수 있다. 즉 각 설계변수에 대해 동일한 수의 하한과 상한을 고려한 실험을 통해 근사식의 정확도를 높일 수가 있다. 뿐만 아니라 D-optimal design과 같이 설계변수가 많을 경우에도 이용이 가능하다. 실제에 있어서 직교배열표는 설계변수 개수가 4개 이상일 경우에 주로 사용된다.

### 3. SAOTRUSS

본 연구에서의 프로그램은 트러스 문제에 대한 최적화 프로그램이므로 SAOTRUSS(sequential approximate optimization for truss problem)라 명하였다. 프로그램은 포트란을 이용하여 상용프로그램인 ANSYS와 최적설계 프로그램인 PLBA와의 연결프로그램을 작성하고 비주얼 베이직을 이용하여 GUI환경에서 사용자가 초기값과 입력파일을 작성하고 결과를 확인할 수 있도록 하였다.

SAOTRUSS의 외형은 초기조건 입력 및 프로그램 실행, 결과확인 등으로 구성되었으나 내부적으로는 독립된 2가지의 프로그램을 사용하고 있다. 첫 번째는 상용 프로그램인 ANSYS인데 순차설계영역에서 실험계획법에 따라 선택된 실험 점들에서 반응값을 얻기 위해서 사용되고 있다. 설계변수 2개, 3수준 요인배치법인 경우 스텝마다 9개의 실험점들이 생성되고 ANSYS도 스텝마다 9번씩 사용되므로 스텝이 4번 진행되어 수렴했을 경우 총 36번 ANSYS가 사용되어 진다. 두 번째는 최적설계 프로그램인 PLBA인데 순차설계영역에서 생성된 근사식들을 제약조건으로

사용하여 최적값을 찾기 위하여 사용된다. PLBA는 스텝마다 한번씩 사용되어 진다.

#### 3.1 프로그램의 구조

SAOTRUSS는 두 부분으로 나뉜다. 첫 번째는 ANSYS와 PLBA를 연결시키고 순차 근사 최적 알고리즘을 따라 최적해가 수렴할 때까지 프로그램을 진행시키는 포트란 코드로 짜여진 부분이고 두 번째는 초기조건과 입력파일을 손쉽게 생성시키고 결과를 확인할 수 있도록 GUI환경을 구축하기 위해 비주얼 베이직으로 짜여진 부분이다.

비주얼 베이직 부분에서는 우선 초기값들을 입력받는데 설계변수의 초기치, 하한, 상한 및 제약조건들의 허용치, 목적함수가 이에 해당된다. 이 데이터들은 주어진 최적설계 문제를 프로그램 상에서 정식화하기 위해서 사용된다. 그 다음으로는 실험계획법을 선택하게 되는데 설계변수 개수와 실험의 정밀도를 고려하여 적당한 실험계획법을 선택한다. 설계변수 개수가 3개 이하일 경우에는 요인배치법이 정밀도가 우수하여 바람직하고 설계변수 개수가 3개 이상일 경우에는 직교배열표를 사용하는 것이 시간비용과 계산비용에서 유리하다. 그 다음에는 근사식의 형태를 결정해야 하는데 응력과 변위를 제약조건으로 사용하는 일반적인 최적설계 문제에 있어서는 역수 근사식이 계산비용 및 시간비용이 적게 들어 우수하고 수렴율이 좋다. 역수 근사식이 우수한 이유는 대부분의 최적설계 문제에서 설계변수가 부재의 단면적이거나 구조물의 부피 및 질량에 관계되기 때문이고 단면적 및 부피는 응력과 변위에 반비례 관계를 가

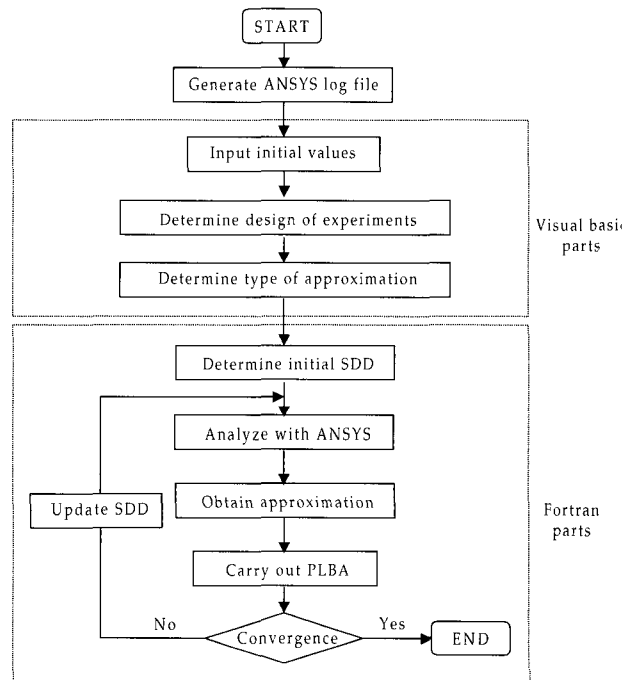


그림 3 Flowchart of SAOTRUSS

지기 때문이다.

포트란 부분에서는 초기 순차 설계영역을 결정하는 작업 부터 시작하게 되는데 본 연구의 초기 순차 설계영역은 각 설계변수의 전체 설계영역의 10%에 해당하는 양을 중간값을 기준으로 상·하로 읍셋한 영역을 사용한다. 그 다음으로는 선택된 초기 순차 설계영역에서 실험계획법에 따라서 실험점들을 선택하고 이들 점에서 ANSYS로 해석하여 근사식을 구성하기 위해 필요한 반응치들을 구한다. 일반적인 경우에 모든 절점의 변위와 모든 요소의 응력을 반응치로 구한다. 그 다음에는 반응치들을 이용하여 변위 근사식과 응력 근사식을 구성하게 된다. 구해진 근사식들은 최적설계 프로그램인 PLBA의 제약조건함수로 사용되고 PLBA는 목적함수와 제약조건함수를 이용하여 최적점을 찾아낸다. 찾아낸 최적점에 대하여 수렴성을 검토하여 수렴하면 알고리즘을 종료하고 그렇지 않으면 순차설계영역을 결정하는 과정부터 다시 반복한다. SAOTRUSS의 전체 흐름을 그림 3에 나타내었다.

### 3.2 ANSYS 로그 파일의 생성

본 연구의 SAOTRUSS는 프로그램 시작 전 단계로서 모델이 되는 구조물의 ANSYS 로그 파일을 필요로 한다. 로그 파일은 ANSYS에서 사용자가 사용한 명령을 순차적으로 기억하고 있는 파일이며 구조물의 해석과정이 끝난 후의 로그 파일은 ANSYS의 입력파일로서 다시 사용되면 같은 해석과정을 자동으로 되풀이 할 수 있다. 로그 파일은 본 연구의 프로그램에 사용되기 위해서 약간의 수정이 필요하다. 본 연구의 프로그램에서는 매개변수를 사용하여 로그파일의 첫머리에 설계변수를 지정하고 기존의 설계변수 자리에 매개변수 이름을 대치시킨다. 설계변수가 2개인 경우의 변환 전과 변환 후의 로그 파일을 표 1에 나타내었다.

표 1 ANSYS log file

Before conversion	After conversion
/PREP7	a01=1885.2
ET,1,LINK1	a02=1184.5
r,1,1885.2	/PREP7
r,2,1184.5	ET,1,LINK1
UIMP,1,EX, . ,210e3,	r,1,a01, .
N,1,0,0,0,....	r,2,a02, .
N,2,2500,0,0,....	UIMP,1,EX, . ,210e3,
N,3,5000,0,0,....	N,1,0,0,0,....
N,4,2500,-2500,0,....	N,2,2500,0,0,....
.....	N,3,5000,0,0,....
	N,4,2500,-2500,0,....
	.....

### 3.3 비주얼 베이직을 사용한 GUI환경

SAOTRUSS의 초기 메뉴는 전처리, 처리, 후처리 및

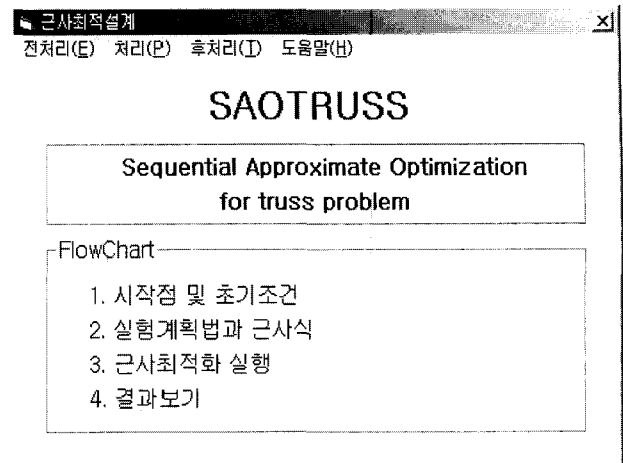


그림 4 Main window

도움말로 구성되어 있다. 전처리 과정에서는 설계변수, 제약조건, 목적함수를 정의해 주고 실험계획법과 근사식의 형태를 결정하여 프로그램의 전반적인 입력 데이터를 완성시킨다. 처리 과정에서는 포트란 코드로 짜여진 일련의 알고리즘을 따라 근사 최적화가 실행되고, 그 결과를 화면에 출력한다. 후처리 과정에서는 목적함수와 설계변수가 어떻게 수렴하여 갔는가를 알 수 있도록 목적함수와 설계변수의 변화과정을 볼 수 있도록 하였다. 도움말에서는 근사최적설계의 개요를 기술하고 실험계획법 및 근사식의 형태에 대한 간략한 개요를 나타내어 프로그램 사용자가 프로그램을 처음 접할 때 도움을 주도록 하였다. 처리과정은 총 3개의 과정으로 구성된다.

첫 번째는 전처리 과정의 주된 기능은 최적설계 알고리즘에 관한 지식이 부족한 일반 사용자들이 보다 쉽게 근사 최적화 알고리즘을 사용할 수 있도록 하는 것이다. 여기서 사용자는 GUI환경에서 설계변수, 제약조건, 목적함수를 입력하고 실험계획법과 근사식의 형태를 사용자의 목적에 맞게 선택할 수 있게 된다. 프로그램에서 전처리 과정의 메뉴는 시작점 및 초기조건, 실험계획법과 근사식 그리고 종료로 구성되어 있다. 시작점 및 초기조건에서는 근사최적설계를 위한 기본 데이터가 입력되어 파일이 생성되고 실험계획법과 근사식에서는 다양한 실험계획법과 근사식을 사용자가 선택할 수 있도록 하였다.

두 번째 과정은 실행과정 메뉴는 근사최적화 실행이라는 하나의 항목만 가지고 있다. 근사최적화 실행 항목은 포트란 코드로 짜여진 일련의 알고리즘을 따라 근사 최적화가 실행되고 그 결과를 화면에 출력한다.

세 번째 과정은 후처리과정의 메뉴는 목적함수 변화과정과 설계변수 변화과정이 있다. 목적함수 변화과정에서는 최적해가 수렴하기까지 진행된 스텝 회수만큼의 목적함수 정보가 나타난다. 설계변수 변화과정에서는 최적해가 수렴하기까지 진행된 스텝 회수만큼의 설계변수 정보가 나타난다. 이러한 정보들은 해석모델의 수렴정도를 알 수 있고 최

적해의 진행방향을 예측할 수 있게 하여 추후에 사용자가 더 나은 최적해를 찾을 수 있는 기반을 제공한다.

### 4. 수치예제

#### 4.1 3부재 트러스

대칭인 3부재 트러스를 그림 5에 도시하였고 필요한 설계 데이터는 표 2에 제시하였다. 1번 부재와 3번 부재가 대칭이므로 설계변수를 2개로 선정하였다. 설계변수가 2개이므로 실험계획법은 3수준 요인배치법을 사용하고 근사식은 응력과 변위를 제약조건으로 사용하므로 역수근사식을 사용한다.

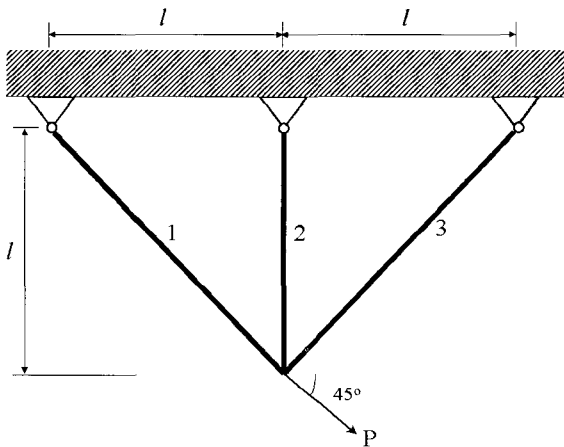


그림 5 Symmetric three bar truss

표 2 Design data for three bar truss

Design data	Value
Length $l$	2,500 mm
Modulus of elasticity $E$	210 GPa
Load $P$	200 kN
Allowable stress $\sigma_a$	80 MPa
Allowable displacement $U_a$	1 mm
Lower limit on area $A^L$	1 mm <sup>2</sup>
Upper limit on area $A^U$	10,000 mm <sup>2</sup>

##### 4.1.1 해석 결과

3부재 트러스의 해석은 네 번의 스텝만에 수렴하였다. 목적함수인 부피는 2.2430×107mm<sup>3</sup>에 수렴하였고 설계 변수인 부재 1, 2의 단면적  $A_1, A_2$ 는 2806.50mm<sup>2</sup>과 830.52mm<sup>2</sup>에 수렴하였다. 이렇게 빠르게 수렴할 수 있었던 것은 설계변수인 단면적  $A_1, A_2$ 가 제약조건인 응력과 변위에 반비례 관계를가지며 역수형태의 근사식이 이를 잘 표현했기 때문이다. 목적함수와 설계변수의 변화과정을 아래 표 3에 나타내었다.

표 3 History of cost function and design variables

	Volume(10 <sup>7</sup> ×mm <sup>3</sup> )	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )
Step 1	2.3200	2717.10	1383.40
Step 2	2.1910	2732.40	835.26
Step 3	2.2430	2802.00	843.39
Step 4	2.2430	2806.50	830.52

##### 4.1.2 결과의 타당성

결과의 타당성을 살펴보기 위해 ANSYS에 최적해를 넣어서 절점의 변위와 요소의 응력을 살펴보았다. 절점의 변위를 표 4에 나타내었고, 요소의 응력을 표 5에 나타내었다. 변위는 4번 절점에서 허용변위인 1 mm에 제약을 받아 활성화 제약조건이 되었고 응력에서는 모든 요소에서 허용 응력인 80 MPa를 넘지 않아 비활성화 제약조건이 되었다. 4번 절점의 허용변위를 2 mm나 3 mm로 완화시킬 수 있다면 목적함수인 부피를 좀더 최소화시킬 수 있을 것이다.

표 4 Displacement of nodes

(Unit : mm)

Node	$U_x$	$U_y$	$U_z$	$U_{sum}$
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.84837	-0.59807	0.0000	1.0380

표 5 Stress of elements

(Unit : MPa)

Element	Stress
1	60.751
2	50.238
3	-10.512

#### 4.2 5부재 트러스

정정 구조물인 5부재 트러스를 그림 9에 도시하였고 필요한 설계 데이터는 표 6에 제시하였다. 설계변수는 각 부재의 단면적으로 5개이다. 설계변수의 수가 5개부터 13개

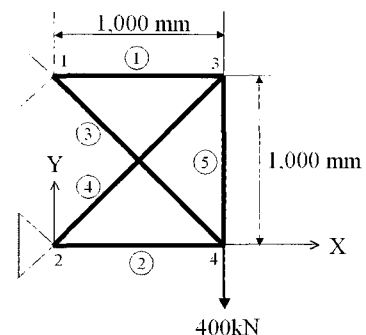


그림 9 Five bar truss

표 6 Design data for five bar truss

Design data	Value
Modulus of elasticity E	210 GPa
Allowable stress $\sigma_a$	170 MPa
Allowable displacement Ua	5 mm
Lower limit on area AL	1 mm <sup>2</sup>
Upper limit on area AU	10,000 mm <sup>2</sup>

까지 실험 가능한 3수준 직교배열표를 사용한다. 근사식은 3부재와 마찬가지로 역수 근사식을 사용한다.

4.2.1 해석 결과

5부재 트러스의 해석은 열한번의 스텝만에 수렴하였다. 목적함수인 부피는 6.4530×10<sup>7</sup> mm<sup>3</sup>에 수렴하였고 설계 변수인 부재1, 부재2, 부재3, 부재4, 부재5의 단면적 A1, A2, A3, A4, A5는 각각 1.00, 2364.83, 3345.95, 1.00, 1.00mm<sup>2</sup>에 수렴하였다. 수렴결과를 고찰해 보면 2번 부재와 3번 부재만이 구조를 지지하는데 필요한 부재이고 1번, 4번, 5번 부재는 단면적이 설계변수의 하한이었던 1로 수렴하는 것을 알 수 있었다. 목적함수와 설계변수의 변화 과정을 표 7에 나타내었다.

4.2.2 결과의 타당성

결과의 타당성을 살펴보기 위해 상용 프로그램인 ANSYS 에 최적해를 넣어서 절점의 변위와 요소의 응력을 살펴보았다. 모든 절점의 변위를 표 8에 나타내었고, 모든 요소의

응력의 표 9에 나타내었다. 변위는 모든 절점에서 허용변위인 5 mm를 넘지 않아 비활성화 제약조건이 되었고, 응력은 2번, 3번 요소에서 허용응력인 170 MPa의 제약을 받아 활성화 제약조건이 되었다. 1번, 4번, 5번 요소에서는 단면적이 1 mm<sup>2</sup>이므로 응력이 높게 표시되었다.

표 8 Displacement of nodes

(Unit : mm)

Node	Ux	Uy	Uz	Usum
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.50016	-1.9148	0.0000	1.9791
4	-0.80524	-2.4150	0.0000	2.5457

표 9 Stress of elements

(Unit: MPa)

Element	Stress
1	105.03
2	-169.10
3	169.02
4	-148.54
5	105.03

5. 결 론

근사최적화 기법은 순차설계영역을 사용하여 순차적으로 더 나은 최적값을 찾아가는 방법이다. 이러한 근사최적화

표 7 History of cost function and design variables

	Volume (104×mm <sup>3</sup> )	A1(mm <sup>2</sup> )	A2(mm <sup>2</sup> )	A3(mm <sup>2</sup> )	A4(mm <sup>2</sup> )	A5(mm <sup>2</sup> )
Step 1	8809.00	1343.39	1452.45	2230.96	1724.13	1225.71
Step 2	7175.00	826.72	1489.87	2198.08	1185.28	729.45
Step 3	7756.00	674.60	2113.66	2603.11	980.90	605.69
Step 4	7380.00	518.76	1990.56	2842.64	725.27	499.10
Step 5	7192.00	414.86	2092.17	2957.03	545.09	389.72
Step 6	7054.00	334.61	2153.68	3045.19	421.57	301.48
Step 7	6934.00	248.98	2206.97	3121.00	329.60	232.57
Step 8	6834.00	174.35	2259.60	3195.45	239.04	168.01
Step 9	6732.00	129.49	2280.17	3224.59	178.44	125.22
Step 10	6684.00	96.67	2303.60	3257.75	135.99	95.77
Step 11	6640.00	73.86	2317.48	3277.46	103.65	74.34
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Step 26	6526.00	4.32	2368.35	3349.42	6.29	4.17
Step 27	6520.00	3.26	2367.70	3348.39	4.70	3.30
Step 28	6520.00	2.99	2363.97	3343.80	4.47	3.12
Step 29	6521.00	2.18	2367.41	3348.92	2.52	2.67
Step 30	6518.00	1.69	2365.54	3344.99	1.81	1.76
Step 31	6516.00	1.00	2364.83	3345.95	1.00	1.00

기법은 계산시간이 오래 걸리고 처리과정이 복잡하여 자동화가 되어 있지 않으면 사용하기가 어렵다. 본 연구의 SAO-TRUSS는 순차설계영역을 사용한 근사최적화 기법의 전 단계를 자동화하였을 뿐만 아니라 GUI환경을 구현하여 사용자가 편리하게 데이터 입력 및 결과확인을 할 수 있도록 하였다. 본 연구의 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에서 개발한 SAOTRUSS는 최적설계 작업환경을 이 분야의 전문가는 물론 최적설계에 관한 전문적인 지식이 거의 없는 일반 사용자도 최적화 알고리즘에 쉽게 접근할 수 있도록 하였다. 사용자가 전처리과정에서 초기조건 및 문제에 적합한 실험계획법과 근사식의 형태를 선택하면 처리 과정에서 자동화된 알고리즘에 따라 프로그램이 실행되어 최적값을 찾아준다.
- 2) GUI 환경의 본 프로그램은 문제 정식화 및 데이터 입력을 간편하게 하여 사용자가 직접 문제 정식화 및 데이터 입출력을 관리할시 발생하기 쉬운 오류를 효과적으로 제거하였다. 프로그램의 후처리 과정에서는 방대한 데이터 중에서 목적함수와 설계변수의 변화과정을 보여주어 최적화 과정이 어떻게 진행되었는지 알 수 있다.
- 3) 순차 설계영역은 설계변수의 상한과 하한의 폭이 큰 트러스 최적설계 문제에 잘 적용되었다. 설계변수가 5개 이하의 3부재, 5부재의 경우 일반적인 최적설계의 결과와 거의 일치하였다.

## 후 기

이 연구는 한국 과학 기술 재단 지정 최적설계 신기술 연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. Vanderplaats G. N., "Thirty years of modern structural optimization", *Adv. Eng. Software*, Vol.16, 1993, pp.81~88
2. Santos, J. L. T., Godse, M. M. and Chang, K. H., "An Interactive Post-Processor for Structural Design Sensitivity Analysis and Optimization: Sensitivity Display and What-If Study", *Computers & Structures*, Vol.35, No.1, 1990, pp.1~13
3. 김정진, 이진식, 임오강, "근사 최적설계를 위한 순차 설계영역에 관한 연구", 한국전산구조공학회논문집, 제14권, 제3호, 2001, pp.339~348
4. Arora, J., S., *Introduction to Optimum Design*, McRraw-Hill Book Company, New York, 1989, pp.384~387
5. Haftka, R. T., and Gurdal, Z., "Element of Structural Optimization", *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, The Netherlands, 1991, pp.209~215
6. Myers, R. H., and Montgomery, D. C., "Response Surface Methodology-Process and Product Optimization Using Designed Experiments", *John Wiley & Sons, Inc.*, Canada, 1995, pp.1~3
7. Kok, S., and Stander, N., "Optimization of a Sheet Metal Forming Process Using Successive Multipoint Approximation", *AIAA*, 1998, pp.2728~2740
8. 박성현, 현대실험계획법, 민영사, 1996