

# 최적설계 지원 객체지향 프레임 워크 개발

주민식\* , 최동훈\*\* , 이세정\*\*\*

## Development of a Object Oriented Framework for System Design Optimization

Min Sic Chu, Dong Hoon Choi, and Se Jung Lee

**Key Words :** Design Framework(설계 프레임워크), RSM(반응표면법), Database(데이터베이스), SQL, GUI(사용자 지원 인터페이스), Wrapper, JAVA-RMI(자바 원격 메소드 호출),

### Abstract

For Optimization technology Was Developed in 1960, the Optimization Technology have grown into a full-featured, robust, highly rated and highly used. And Optimization techniques , having reached a degree of maturity over the past several years, are being used in a wide spectrum of industries, including aerospace, automotive, chemical, electrical ,and manufacturing industries. With rapidly advancing computer technology, computers are becoming more powerful, and correspondingly, the size and the complexity of the problems being solved using Optimization techniques are also increasing. But Optimization techniques with analysis solver have many problems. For instance ,the difficulties that a particular interface must be coded for each design problem and that the designer should be familiar with the optimization program as well as the analysis program. The purpose of this paper is Optimal Design Framework for Mechanical systems design. This Design Framework has two Optimizers, ADS(local optimizer) and RSM(Response Surface Method), and graphic user interfaces for formulation and optimum design problem and controlling the design process. Current Design Framework tested by two analysis solver, ADAMS and ANSYS.

First this paper focused on the core Framework and their conception .In the second of the paper, I cover subjects such as Design Framework Operation. Next, The validity and effectiveness of Design Framework are shown by applying it to many practical design problems and obtaining satisfactory results. Finally , if you are an advanced Operator ,you might want to use Response Surface Method ,so that cover the result applied by RSM. here

### 1. 서 론

기계 시스템의 최적설계를 위해서는 시스템 해석 프로그램과 최적화 엔진이 필요 하다 그리고

이들은 유기적으로 결합하여 상호간에 정보 교환을 효과적으로 수행할 수 있는 설계 프레임워크가 필요하다.

지금까지의 최적설계는 이러한 해석 프로그램과 최적화 프로그램을 결합하는 접속 프로그램을 설계자의 경험이나 노하우를 통하여 각 설계 문제마다 직접 작성하였다. 그러나 이 방법은 설계자의 경험과 노하우를 축적하기 어렵고 저 수준 프로그래밍 코딩에 있어서 소요되는 시간 및 비용의 문제가 증가한다는 점이 발생한다.

이 문제점을 해결하기 위해서 설계 프레임워크

\* 한양대학교 대학원 기계설계학과

E-mail: mdoframe@ihanyang.ac.kr

TEL : (02)2290-0478 FAX : (02) 2290-1639

\*\* 회원, 서울시립대학교, 정밀기계공학과

\*\*\* 회원, 한양대학교, 최적설계신기술연구소

(DESIGN FRAMEWORK)과 같은 시스템의 필요성이 인식되어 왔으나 이에 대한 연구는 해석이나 최적화 기술개발에 대한 연구에 비해 매우 부족한 현실이지만 미국이나 다른 선진국에선 이미 진행중인 연구이다.

본 연구에서는 기계시스템의 최적설계를 위한 기반 구조인 설계 프레임웍을 제안하고자 한다. 이를 바탕으로 시스템 해석 프로그램과 최적화 프로그램의 결합을 위한 자동화 작업이 이루어지며 일반적인 최적기술 이외에 근사 최적화 기술(RSM)을 지원하여 실질적인 문제 최적화를 지원하며, 다분야 통합 최적설계를 위해서 시스템 통합에 있어서 필요한 분산환경의 지원 및 해석시간을 줄이기 위한 병렬처리 지원한다

이 설계 프레임웍의 유효성 및 신뢰성을 확보하기 위하여 실제로 이미 최적화 예가 있는 ADAMS 문제를 최적설계를 하여 비교 하였으며 구조 최적설계 지원에 대한 검증을 위하여 ANSYS를 이용하여 최적설계를 수행하여 보았으며, RSM 기법을 도입하여 일반적인 최적설계 해와 비교를 하였다.

## 2. 설계 프레임의 기능

### 2.1 분산 환경 과 시스템 통합

최적설계 분야에 있어서 다분야 통합 최적설계는 오래 전부터 연구 해오고 있었지만 이를 실질적으로 응용하여 최적화하는데 있어서는 많은 문제를 가지고 있었다. 첫번째는 기존에 쓰이고 있는 해석 시스템들을 어떻게 통합 하는가와, 이렇게 통합된 해석 시스템들을 어떠한 근거로 자동화 할 것인가, 마지막으로는 이를 이용하여 최적 해를 구해내는 최적화 모듈에 있다.

일반적으로 공학 해석분야에 있어선 컴퓨팅 환경은 항상 새로운 기술을 도입한 시스템만 있는 것이 아니라 이전 기술을 기반으로 한 레거시 시스템이 공존 하게 된다.

기업 또한 마찬가지로 서로 다른 구조의 시스템을 유기적으로 연계해 사용할 필요가 있다. 따라서 현 해석 환경은 어떠한 레거시 환경과 새로운 시스템을 이음새 없이 통합 할 수가 있어야 하며, 다른 많은 분야에 있어서도 시스템간의 통합을 위해 표준을 제시하기도 한다.

본 연구에서는 제시하는 설계 프레임웍은 다른 설계 프레임웍인 iSIGHT, ModelCenter 과 같이

ASCII 파일기반의 입/출력을 기본으로 하는 해석 시스템의 통합을 지원한다.

또한 이러한 해석 시스템이 다른 지리적 위치, 다른 기종의 컴퓨팅 환경에 있을수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 해석 시스템을 통합하기 위한 에이전트 랩퍼(Agent Wrapper)를 개발하였으며 이는 어느 환경에서나 돌아 갈수 있도록 자바를 기반으로 개발되었다.

이런 각각의 에이전트가 서로 정보를 교환할수 있도록 JAVA-RMI 를 기본 프로토콜로 제작하였다.

### 2.2 해석 프로세스의 자동화

최적화를 위해서 통합된 시스템을 효율적으로 배치하고 자동화 해야 한다. 해석 프로세스들은 서로간의 데이터 연관관계에 따라서 우선 순위가 정해 지며 이러한 커플링 관계에 의거하여 스케줄러가 프로세스를 호출한다.

## 3. 설계 프레임의 내부구조

다음은 설계 프레임웍의 내부 구조에 대해서 설명하고자 한다. 위의 Fig. 3.1 에서 나타내는 것과 같이 크게 스케줄러와 각각의 매니저들로 구성되어 있으며 그 외의 서브 시스템들로 프레임웍은 구성되어 있다. 각각의 해석 프로그램은 Agent Wrapper 로 컴포넌트 화하여 연결되어 있으며, 서브 시스템들에 대해서는 다음과 같다.

### 3.1 데이터 베이스 관리자

설계 프레임웍은 설계 정보의 공유 및 설정된 데이터의 처리 및 저장 분석을 위하여 자체적인 데이터 베이스 시스템을 구성하지않고 상용 DATABASE ENGINE 을 도입하여 구성하였다. 이유는 새로운 데이터 조작 및 저장을 위한 개발 분야는 이미 많이 발달되어 있으며 이를 구성하는데 있어서 개발 시간을 단축한다는데 많은 이득이 있기 때문이다.

도입된 데이터 베이스 엔진은 MICROSOFT

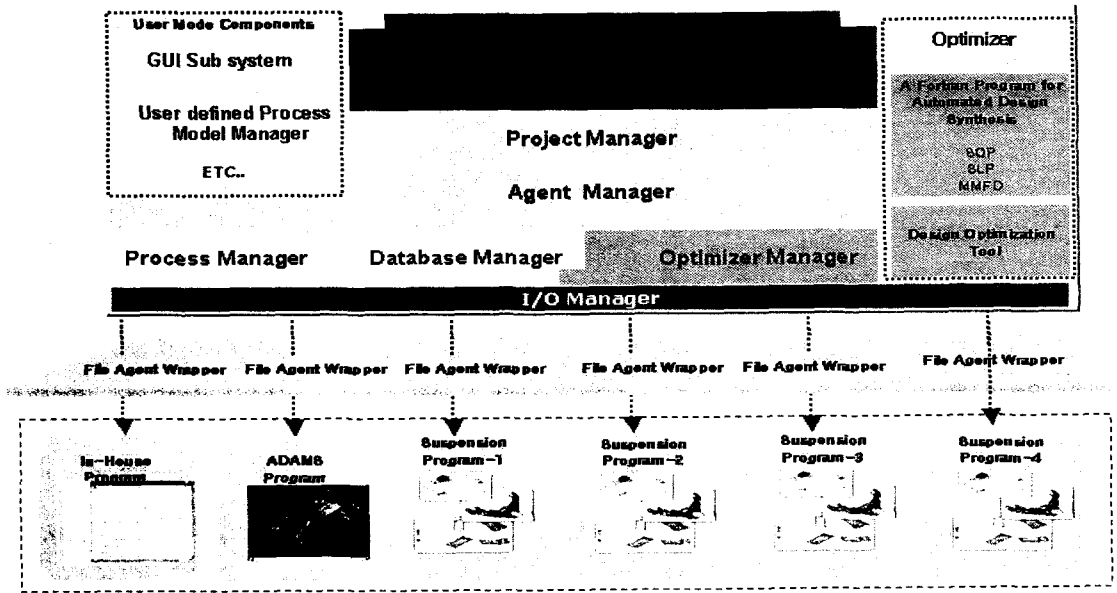


Fig 3.1

ACCESS 로 작성되었다. MICROSOFT ACCESS 는 일반 PC 용 관계형 Database Management System 으로서 MICROSOFT 사에 의하여 개발되었으며 JET 기술에 기반을 두고 있으며, 어느 정도까지는 다수의 사용자가 공유할수 있는 데이터 베이스를 구축 할수 있게 해주는 제품이지만 SQL 서버와 와 같은 전문적인 엔터프라이즈 제품에 비교하면 처리할수 있는 레코드 수 측면에서 그 한계를 보여주고 있다

하지만 여타 다른 개발 시스템의 추세와 같이 개발시에는 작은 규모의 ACCESS 를 이용하여 개발한 후에 나중에 SQL 서버와 같은 엔터프라이즈 시스템을 장착하여 동작 시키는데 있어 어려움이 없다.

### 3.2 I/O 관리자(I/O Manager)

I/O 관리자는 설계 프레임워크와 관련된 모든 해석 시스템간의 입출력에 관장한다. I/O 관리자의 중요한 역할은 설계 프레임워크의 내부 객체들과 해석 시스템간의 데이터 교환을 관리하는 것이다,

I/O 관리자는 ASCII 형태의 입출력 형태의 파일을 지원하며 각각에게 적당한 환경을 제공한다. I/O 관리자는 추상화 계층 형태를 가지는 구조를 가지는데 이는 해석 시스템이 설계 프레임워크에 위치하는 곳에 존재를 하는 컴퓨터 시스템 내에 있던지 아니면 다른 기종간 시스템에 있던지를 상관치 않고 서로간의 인터페이싱을 수행한다.

### 3.3 프로세스 관리자( Process Manager )

프로세스 매니저는 기본적으로 최적화 루틴의 형식 따라 각각의 객체의 동작에 메시지는 보내고 객체에 대해서 메시지를 받아 다음 객체의 행동을 정하는 컨트롤러를 의미한다

프로세스 관리자는 자기 스스로 다음번에 수행할 프로세스에 대해서는 알지 못하며 오직 상위 스케줄러에 의해서 지시된 프로세스를 생성하고 삭제한다. 이러한 프로세스 관리자는 해석 프로그램을 병렬로 수행될 수 있는 조건이라면 자동적으로 프로세스를 병렬로 생성한다.

### 3.4 에이전트 관리자(Agent Manager )

에이전트 관리자는 하부 프로세스 관리자나 I/O 관리자에 의해서 넘겨오는 정보를 이용하여 좀더 프로세스나 데이터가 아닌 보다 논리적인 차원에서 시스템은 관리한다.

### 3.5 프로젝트 관리자 ( Project Manager )

프로젝트 관리자는 유저가 설정한 환경변수 데이터를 가지고 있으며 이를 이용하여 시스템의 수행할 문제에 대해서 시스템의 GUI 를 재설정하거나 프로젝트 파일을 로딩하면서 수행해야 할 동작을 관장 한다.

### 3.6 최적화 모듈 관리자 ( Optimizer Manager )

최적화 모듈 관리자는 최적화 모듈이 가지는

방법들을 어떻게 조합을 하는지 어떠한 순서로 최적화 방법을 쓸것인지는 선택하게 하는 것이며 현재는 설계 프레임웍에서 추천하는 방법들을 기본적으로 사용하게끔 설정되어 있다.

### 3.7 최적화 모듈

#### 3.7.1 Automated Design Synthesis (ADS)

ADS 는 공학 시스템의 최적설계를 위한 일반적인 수치 최적화 프로그램이다. ADS 는 구속조건이 있는 최적화 문제와 구속조건이 없는 최적화 문제를 풀기 위한 다양한 옵션을 가지고있다. 엔지니어는 특정 최적화 문제를 풀기 위해서 Strategy, Optimizer, One-dimensional search 의 3 단계로 구성된 알고리즘 선택 옵션을 결정하여야 한다.

#### 3.7.2 반응 표면 법 (Response Surface Method)

일반적으로 도함수에 기초한 기존의 최적설계 방법들은 항공기의 형상 최적설계와 같이 해석 시 계산량이 방대한 문제의 경우 시간적, 수치적 부담이 너무 커 비효율적이고, 노이즈가 많은 문제의 경우에는 도함수에 의해 계산되는 방향탐색이 정확하지 않기 때문에 올바른 최적화가 불가능하게 된다. 또한 해석코드가 없는 물리적 실험이나 최적설계루틴이 없는 상용 소프트웨어에 의해 해석과 같은 경우 기존의 방법으로는 최적화를 수행할 수가 없게 된다. 이러한 경우 기존의 최적 설계기법의 대체 최적화 방법으로서 최근 각광 받고 있는 방법들 중 하나가 통계학에서 개발되고 연구되어 온 반응 표면 법이다.

문제 최적화에 있어서 설계 프레임웍은 ADS 와 같은 형식의 최적화 모듈로는 최적화가 이루어지지 않는 경우가 있으며 또한 RSM 을 이용할 경우에는 전역 최적 점을 구할 가능성이 있다

### 3.8 스케줄러 (Scheduler)

설계 프레임웍내 가장 최상위에 있는 상위 객체로서 모든 객체들에게 수행해야할 동작 메시지를 보내는 최상위 객체이다.

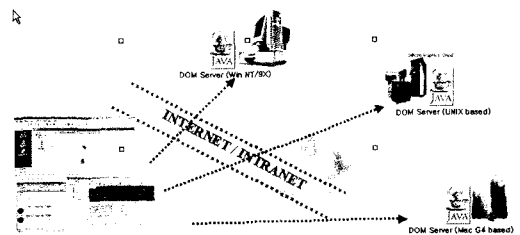
스케줄링의 단위는 설계 프레임웍 내에서 정의하는 테스크 단위이다. 이러한 스케줄러는 기본적으로 세가지 정의에 의해서 동작이 된다.

첫번째는 사용자가 정의하는 해석 시스템들간의 외적인 연관 관계를 기본으로 스케줄링을 한다. 이러한 서로간의 커플링 관계에 따라서 의존관계트리를 생성하지만 스케줄링을 이러한 의존관계보다 사용자가 설정을 하는 유저 프로세스가 더 우선 순위를 가진다. 즉 해석 시스템 A 와 B 가 있을 경우 A 의 X1 이 B 의 X1 으로 연결된다면 스케줄러는 해석 시스템 A 를 수행한 후 B 를 수행한다. 하지만 유저의 설정에 의해서 A 다음 C 를 수행하라고 지정한다면, 스케줄러는 A->C->B 순으로 수행을 한다.

### 3.9 파일 에이전트 래퍼 (Fill Agent Wrapper)

본 연구에서 제안하고자 하는 설계 프레임웍은 Microsoft Windows 기반으로 하는 시스템이며, 클라이언트 (Client)와 서버(Server)구조로 구성되어 있다. 클라이언트는 설계 프레임웍이 되며 서버는 해석 시스템이 되는 형태이다. 이러한 구조는 많은 로드가 걸리는 작업으로 서버로 분산이 되어 처리가 되는 구조이다. 이렇게 분산된 환경 특히 다분야 통합 최적설계 문제는 매우 복잡하며 서버측에는 PC 가 아닌 슈퍼 컴퓨터나 UNIX 컴퓨터가 사용되는 것이 관례이다.

서버로 사용되는 컴퓨터는 어느 플랫폼에서나 동작이 가능해야 하므로 이를 C++ 나 다른 언어로 각각의 시스템에 맞는 코드를 생성한다는 것은 매우 힘들 일이므로 이러한 멀티 플랫폼의 특성을 가지는 부분은 자바로 구현되었으며 그 외에 클라이언트 부분은 Microsoft Visual C++로 개발 되었다.



## 4. 최적화 수행을 위한 설정 및 내부 동작 방식

### 4.1 내부 동작 방식

설계 프레임워크는 실행 점을 실행환경 재배치 루틴으로부터 시작된다. 이는 일반적인 프로젝트 파일의 OPEN 과 같은 일을 실행하며 이로부터 설계 입력 파일 과 설계 출력 파일을 로딩하며 설계자가 설정한 설계변수 상태변수와 최적화 옵션등을 GUI 에 배치를 한다.

로딩 후에는 MODELING FILE CONTAINER 과 STATE VARIABLE CONTAINER 에 설계 입력 파일 과 설계 출력 파일 이 로딩되며 데이터베이스에는 설계변수와 상태변수가 저장되어 진다. 여기서 프로세스 매니저는 최적화 과정을 수행하기 위한 루틴을 물론 I/O 에 관련된 여러 메커니즘등을 가지고 있다. 이런 프로세스 매니저는 일차적인 단일의 해석 시스템과의 데이터 흐름을 관찰하는 것을 기본으로 다중의 해석 시스템과 설계 프레임워크와의 데이터 흐름관리 및 스케줄을 수행될 수 있도록 설계되고 수정되어 지고 있다.

다음은 프로세스 관리자에 의해서 거치는 정상적인 최적화 시나리오 이다.

- 1) 첫번째로는 설계 프레임워크에서 새로운 모델링파일(새로운 설계 입력파일) 이 생성되며 이는 첫번째 최적화 알고리즘에 의해서 설정된 설계변수 들을 설계 입력파일에다 갱신한 뒤에 생성된다.
- 2) 설정된 해석 시스템을 호출하여 주어진 설계 입력파일해석을 수행한다.
- 3) 시스템의 해석 후 나온 결과 파일인 설계 출력 파일을 재 로딩한다.
- 4) 설계 출력 파일을 재로딩 후 설계자가 설정한 지정위치를 추출 정리한 후 상태변수 들을 update 한다.
- 5) 이러한 상태변수와 설계변수 값들을 이용하여 구속조건과 목적함수를 구해내며 이를 이용하여 최적화 모듈에 보내게 된다.
- 6) 최적화 모듈은 새로 들어온 구속조건, 목적함수를 이용하여 지정된 내부 알고리즘을 이용하여 새로운 설계변수를 생성해내며 이를 설계 프레임워크에 출력한다.
- 7) 이를 이용하여 설계 프레임워크는 새로운

Updated 된 새로운 모델링 파일을 생성해 내며 이를 다시 해석 시스템에 보내어 해석을 재 수행한다.

### 4.2 동적 반응 최적설계

#### 4.2.1 Latch System model

그림 4.1 의 LATCH 시스템은 가장 윗 단의 핸들 부분을 눌러 내리므로 피벗은 시계방향으로 회전하며 밀의 후크를 끌어 당긴다 밀의 후크부분에 걸리는 힘을 마이너스 방향으로 최대화 하는 것이 목적 함수이다. 설계변수로는 피벗의 맨 윗 조인트의 y 축 위치 와 가운데 조인트의 y 축 위치

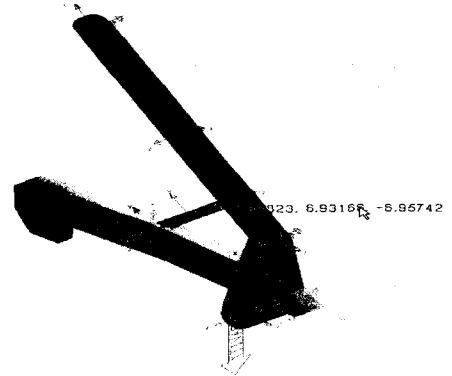


Fig. 4.1

그리고 핸들과 후크의 연결쇠 의 연결부분(핸들쪽) 의 y 축 방향이다.

최적화 한 값은  $-1009.7$  이며 이는  $-960.4$  과는  $10.4\%$ 의 차이를 보인다 이는 ADAMS 의 최적화 모듈과 설계 프레임워크의 최적화 모듈이 차이에서 나오는 것이 아니라 최적화 과정 중 피벗의 무게 중심을 새로 갱신하는 부분이 있는데 그 부분이 ADAMS 와 차이를 보이고 있으므로 이로 인해 최적화 결과가 다름이 예상되어 진다

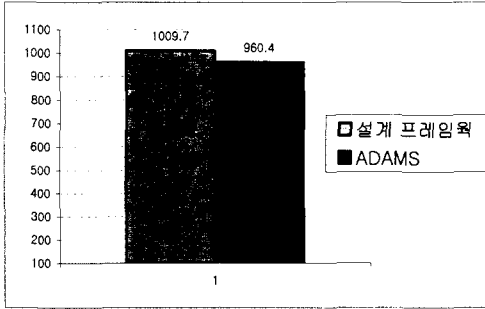


Table. 4.1

### 4.3 시스템 경량화를 위한 10-바 트러스 시스템 최적설계

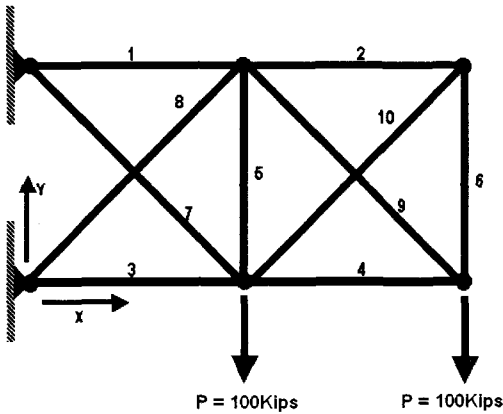


Fig. 4.2

일반적으로 구조 최적설계에서 가장 많이 쓰이는 예제로 목적함수는 시스템의 중량이 되며 설계변수로서는 각 부재의 두께가 된다.

그럼 Fig 4.2 에서 보시다시피 두개의 노드 점에 100psi 응력이 걸리며 구속조건으로는 각각의 element 당 25 ksi 가 넘으면 안되며 부재 9 번 만이 75ksi의 구속조건이 성립된다.

최적화 모듈로서는 Sequential Convex programming 를 선택하여 최적화를 수행하였으며 검증을 위해서 책에 설명된 값과 비교해본 결과 최적설계가 정확히 수행되었음을 알 수가 있다.

#### 4.3.1 반응 표면법을 이용한 10-바 트러스 최적설계

새로운 최적화 알고리즘인 반응 표면법을 이용하여 근사 최적설계를 수행한 후 이를 위의 로컬

최적화 기술과 비교 하고자 한다.

서로의 최적화 결과를 비교 하기 위해서 위와 같은 10-바 문제를 설정했으며 구속조건 목적함수 설계변수의 상하한 치 역시 같다.

이 문제에 대해 실험점의 수는 66 개를 선택하였고 두번 근사 최적화를 수행 하였다. 실험 계획법으로는 유전자 알고리즘(genetic algorithm G.A) 을 이용한 D-Optimal 계획법을 사용하였으며, 근사 반응 함수의 형태로서 이차함수 + 단순 3 차항과 +2 차 역수항을 첨가한 형태의 근사화 모델을 사용하였다.

예로써 설계변수가 2 개인 경우에는 아래와 같은 구조를 가진다

$$F(X) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1^2 + b_4x_1x_2 + b_5x_2^2 + b_6x_1^3 + b_7x_2^3 + b_8/x_1 + b_9/x_2 + b_{10}/x_1^2 + b_{11}/x_1/x_2 + b_{12}/x_2^2$$

이와 같은 함수 구조를 가지며 이러한 함수구조를 이용하여 10 개의 설계변수에 대한 근사 함수를 구성하였다.

Design Variables	local Optimum	RSM
area 1	7.9	6.663592
area 2	0.1	1.904253
area 3	8.1	3.189156
area 4	3.9	1.912454
area 5	0.1	1.918969
area 6	0.1	1.906451
area 7	5.8	7.557082
area 8	5.51	2.020878
area 9	3.68	1.899726
area 10	0.14	1.895248

Table. 4.1

위에서 서술한 두가지 기법을 이용하여 첫번째로 SQP 방법을 이용하여 지역 최적점을 찾았으며 이렇게 해서 구해진 값들을 비교 대상과 비교 한 후 비교 대상이 제시하는 최적점과 거의 동일한 것을 확인 하였으며, 이로써 설계 프레임워의 신뢰성을 확인 했으며 두번째로 RSM 을 이용하여 근사 최적화를 수행한 최적점은 좀더 개선된 설계 치를 제공함을 알수가 위의 Table. 4.1 에서 알 수가 있다.

## 5. 결론

본 논문은 설계 프레임워를 개발하여 설계자

에게 있어서 최적설계 문제를 손쉽게 설정이 가능하며, 효율적으로 엔지니어로 하여금 설계 문제를 적용할 수가 있고 설정된 설계문제의 재 설정에 있어서도 손쉬운 구조로 되어 있는 비주열 통합 관리 툴을 개발 하였다.

이를 이용하여 동적 반응 최적설계와 구조 최적설계를 수행해 보았으며 이를 기반으로 설계자는 최적설계에 대한 어느 정도의 지식 기반과 컴퓨터 활용 기술을 이용하여 쉽게 최적설계를 수행할 수 있으며, 저 수준 프로그래밍을 수행할 수 있는 설계자라 할지라도 이 설계 프레임웍을 이용하여 최적화 수행하기 위한 준비 단계 작업 시간을 줄일 수가 있다

### 참고문헌

- (1) "FRAMEWORK REQUIREMENTS FOR MDO APPLICATION DEVELOPMENT" AIAA-98-4740 A.O. Salas and J.C Townsend NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23681-2199.
- (2) 'Object Oriented Analysis and Design with Applications', 2<sup>nd</sup> Edition, by Grady Booch. Benjamin/Cummings, 1994, ISBN 0-8053-5340-3.
- (3) Vanderplaats, G.N., ADS- 'A FORTRAN Program for Automated Design Synthesis,' NASA CR 172460, Oct. 1985.
- (4) Vanderplaats G.N., 'Numerical Optimization Techniques For Engineering Design with Application', McGraw-Hill Book Company.
- (5) 'An Introduction to Object-Oriented Programming', by Timothy Budd., Addison-Wesley, 1991 ISBN 0-201-54709-0.
- (6) J.S. Arora, 1989, 'Introduction to Optimum Design', McGraw-Hill Book Company.
- (7) 'Response Surface Methodology' process and Project Optimization Using Designed Experiments Raymond H. Myers Douglas C. Montgomery.
- (8) 'ADAMS Optimization Guide', Mechanical Dynamics, Inc., Ann Arbor MI, November 1994