

modeFRONTIER를 이용한 유체 CAE분야의 최적화 사례소개 The introduction of CAE optimization examples by modeFRONTIER

박준정
J. J. Park

1. 서 론

1990년대 이후 공학분야에서 컴퓨터를 이용한 해석 기술의 발달과 컴퓨터 성능의 진보에 힘입어 최적화 설계가 보편화되었고 CAO(Computer Aided Optimization) 기술은 다양한 분야에서 응용되고 있다. CAO 기법을 이용하여 최적화 설계를 구현하기 위해서는 최적화 소프트웨어에 아래와 같은 기능이 장착되어 있어야 한다.

통합화(Integration) : 최적화를 구현하기 위해서는 다른 CAE, CAD, MS/Excel, Matlab, Simulink와 같은 툴들과 연동할 수 있는 효율적인 환경이 제공되어야 한다.

자동화(Automation) : 최적화는 변수들의 변화에 따른 다양한 종류의 반복 계산이 수행되어야 하므로 자동화 프로세스는 효율성측면에서 최적화에 필수요건이라 할 수 있다.

최적화(Optimization) : 반복 계산을 최소화하여 최적으로 설계값을 도출할 수 있는 최적화 기법의 제공이 필요하다.

특히, application software들의 통합화가 아닌 설계최적화 관점에서 여러 개의 목적함수로 구성된 조건에 대한 최적화를 구현하기 위해서는 상기 기능들이 효율적이어야 한다.

본 소개에서는 CAE 분야를 중심으로 폭 넓게 사용되고 있는 modeFRONTIER라 불리는 최적화 소프트웨어의 특성 및 자동차분야에서의 이에 대한 응용 분야를 소개하고자 한다.

2. modeFRONTIER의 구조 및 특성

2.1 modeFRONTIER의 특성 및 적용분야

modeFRONTIER는 주로 기계, 전기, 전자, 항공 프로세스, 항공, 가전 등에 이용되고 있으며 항공기,

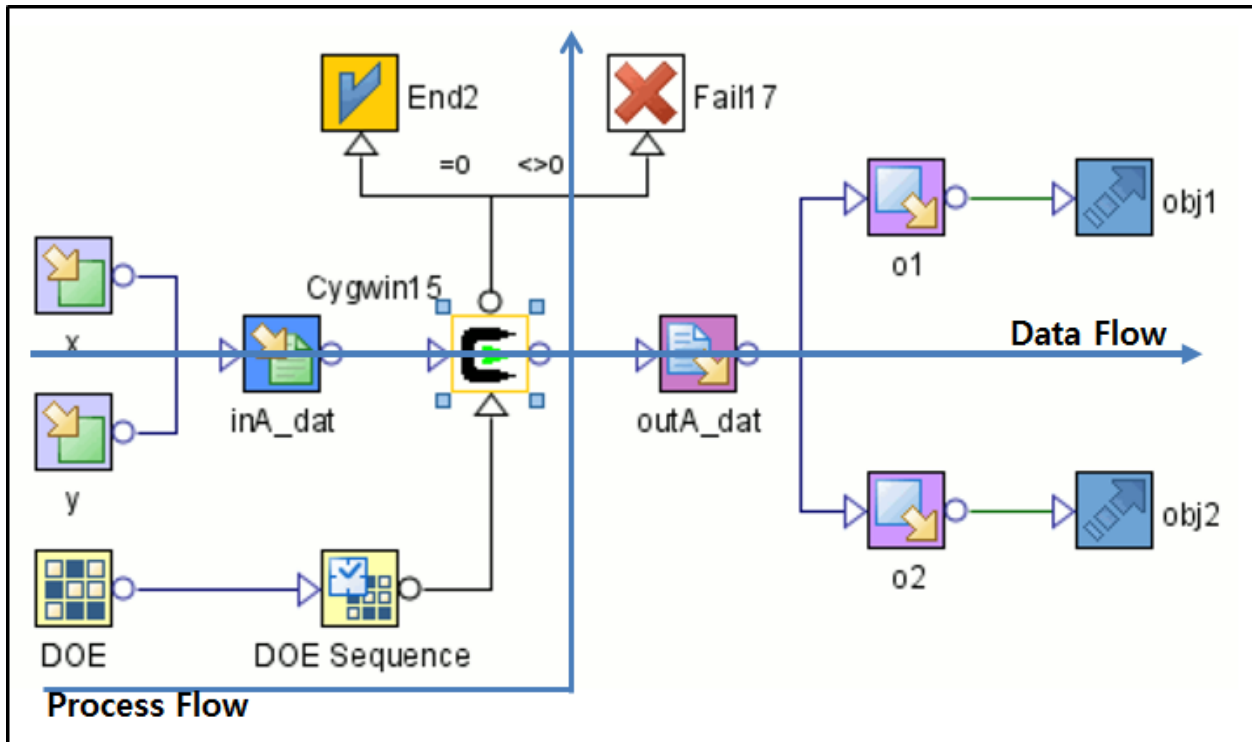


Fig. 1 modeFRONTIER Process

자동차와 같은 부품들에는 여러 가지 종류의 유압 부품에도 적용되고 있다. 특히, 유압분야에서 널리 사용되고 있는 Amesim, Flowmaster, GT-Suite, Matlab, Simulink와의 연동을 통하여 유압설계에 많은 도움을 주고있다. modeFRONTIER는 multidisciplinary & multi-objective 기능을 보유하고 있으며 Java-based의 프로그래밍을 통하여 구현된 것이기 때문에 어느 소프트웨어와도 쉽게 연동할 수 있는 사용자 편리성을 보유하고 있다. 특히 multi-objective기능은 하나의 목적함수가 아닌 다중의 목적함수가 있을경우에 해를 찾아가는 방법으로서 현대 산업분야의 복잡한 설계조건을 만족하려면 반드시 갖춰야하는 기능이다. multi-objectiv기능을 이용한 간단한 예를 살펴보면 어떤 빔(beam)에 주어진 하중이 있을 때 원가측면에서 무게를 최소화하고 성능측면에서 변형량을 최소화하고자 할 경우 이들 두 가지 목적함수는 서로 상충되게 된다. 즉 변형량을 최소화하기 위해서는 두껍게 만들어야 하기 때문이다. 이러한 경우, modeFRONTIER에 내장된 multi-objective기능을 이용하게 되면 원하는 최적화 설계를 구현할 수 있다. 이런 기능을 가진 modeFRONTIER는 이를 이용가능한 산업분야역시 다양하며 대표적으로는 아래와 같은 분야에서 이용하고있다.

- Aerospace
- Appliance
- Architectual
- Automotive
- Biomedical
- Electric & Electrical appliances
- Turbomachinery
- Food & Beverage
- Marine and Offshore

2.2 modeFRONTIER의 구조

modeFRONTIER는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 2 가지 work flow로 구성되어있다. 우선 DATA Flow에서는 설계변수와 목적함수를 지정할 수 있다. Fig. 1의 x,y는 각각 특정의 설계변수를 의미하며 o1,과 o2는 각각 목적함수로서 이 예제에서는 o1 과 o2가 최댓값을 지니는 것을 목표로 전체적인 Process가 설계되었다.

Process Flow는 최적화 하는 과정을 나타낸 부분

이며 Input값의 변경과 연결된 Software의 구동을 자동으로 연결해주는 과정이다.

modeFRONTIER에서 최적화 하는 과정을 위의 두가지 Flow와 연결하여 설명을 하면 먼저 설계변수인 x,y의 초기값을 DOE template에서 설정을 해 주고 계산을 수행한다. 그리고 Scheduler(Fig. 1에서는 DOE Sequence Scheduler를 이용하고 있다.)에서 최적화 알고리즘에 맞춰서 x,y값을 변경하고 계산하는 과정을 반복하여 처리한다.

최적설계를 하기 위해서는 적절한 실험군(DOE)을 설정하는 것이 무척 중요하다. modeFRONTIER에서는 다양한 Sampling method를 제공하여 적절한 실험군을 얻을 수 있다. modeFRONTIER에서 제공하는 Sampling method는 User DOE, Random Sequence, SOBOL, Latin-Hypercube, Constraint Satisfaction, Full Factorial, Reduced Factorial,

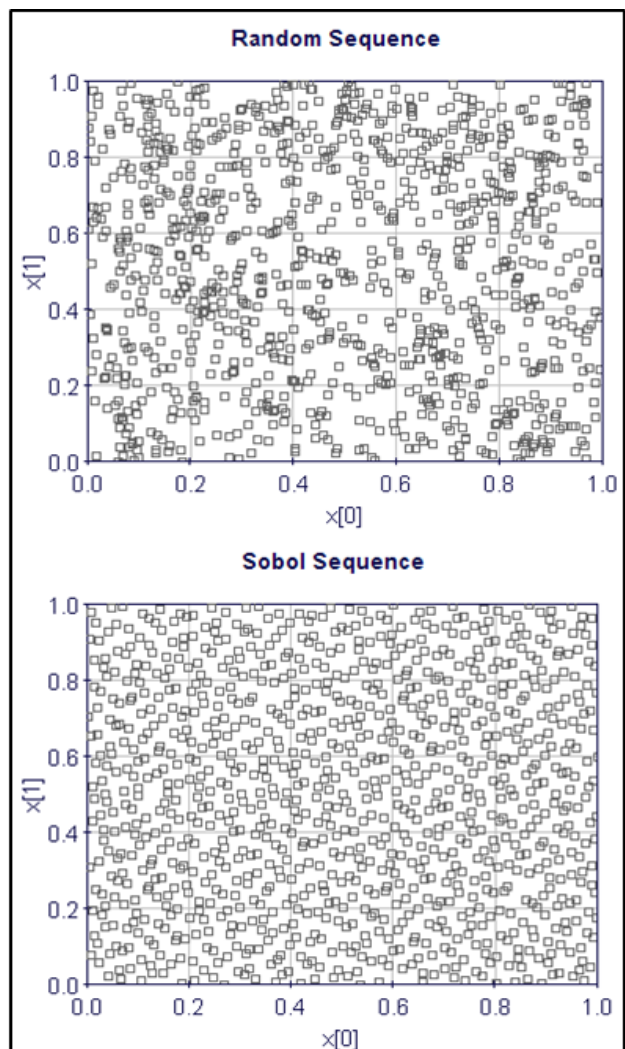


Fig. 2 DOE Algorithm(Random vs Sobol)

Latin Square 등의 방법을 제공한다. 각각의 방법들은 최적해를 얻어가는 방법에 따라서 서로 다르게 사용이 된다. 그 예로서 Full Factorial 같은 방법은 설계변수들을 Design Space 내에 균일하게 배열하는 방법으로서 변수간의 상호작용 효과 및 응답특성 등을 얻어내는데 있어 유용한 방법이다. Fig. 2는 DOE를 설정하는 방법중에 하나인 Sobol 방법과 Random Sequence 방법을 비교한 그림으로서 x[0]와 x[1]의 실험군이 그림과 같이 설정되었음을 볼 수 있다.

위와 같은 방법으로 DOE를 설정하였다면 다음은 최적화 해석을 진행하는 Scheduler를 정의하여 DOE계산 후에 진행할 계산을 정의한다. 계산 Schedule을 정의하는 Scheduler는 최적화 알고리즘에 따라 진행이 되며 흔히 알려진 유전알고리즘을 이용하는 방법부터 Advanced된 최적화 방법까지 다양한 방법을 지원한다. modeFRONTIER에서 제공하는 방법으로는 DOE, MOGA-II, SIMPLEX, SA, DES, MMES, NSGA-II 등의 다양한 방법을 지원한다. 여기서 DOE 방법은 간단하게 DOE Template에서 제공한 실험군만 해석하는 방법이며, MOGA-II는 Multi-Objective Genetic Algorithm의 약자로서 다중목적함수를 지닌 최적화 문제를 유전 알고리즘에 적용하여 해석 스케줄을 정의하는 방법이다. Fig. 3은 DOE 방법으로는 Uniform Latine Hyper Cube 방법을 이용하고 Scheduler로는 SIMPLEX 방법을 이용하여 설계변수인 alpha와 beta를 변경시킨 예를 보여준다.

이렇게 얻어진 해석결과를 토대로 자체적으로 분석을 통해 최적해를 얻을 수도 있지만 modeFRONTIER에서는 Design Space라는 공간을 통해 최적화된 해를 얻을 수도 있다.

Design Space에서 이용되는 대표적인 방법으로는 RSM(Response Surface Method) 방법이 있다. RSM 방법은 응답곡면을 만들어 곡면의 Gradient를 이용하여 최적해를 얻어내는 방법이다. modeFRONTIER에서 제공하는 응답곡면을 만드는 방법으로는 K-Neareast, SVD, Kriging, Neutral Network, Gaussian Processes 등의 방법들이 있다.

최적설계 문제에서 다중 목적함수를 지닌 경우에는 설계자의 가치관에 따라 단일 목적함수에 통합하는 과정이 필요하다. 이렇게 목적함수를 통합하고 설계 ID 간의 Ranking을 결정하기 위해 modeFRONTIER에서는 MCDM(Multi Criteria Decision Making) 방

법을 이용한다. modeFRONTIER에서 제공하는 대표적인 MCDM 방법은 MCDM Linear Algorithm, MCDM GA(Genetic Algorithm), Hurwicz criterion 방법 등을 들 수 있다. Fig. 4는 MCDM 방법을 이용하여 얻어진 결과간에 Ranking을 분석하는 내용을 나타낸 그림이며 그림으로부터 Rank value가 가장 큰 Design ID 3번이 가장 최적화된 결과임을 알 수 있다.

ID	RID	M	CATEGORY	alpha1	alpha2
0			ULH	1,98E1	2,79E1
1			ULH	7,80E0	2,16E1
2			ULH	1,41E1	2,70E1
3			SIMPLEX	2,61E1	3,00E1
4			SIMPLEX	3,00E1	3,00E1
5			SIMPLEX	1,59E1	2,79E1
6			SIMPLEX	2,64E1	2,94E1
7			SIMPLEX	1,95E1	2,85E1
8			SIMPLEX	1,32E1	2,64E1
9			SIMPLEX	2,28E1	2,91E1
10			SIMPLEX	2,31E1	2,85E1
11			SIMPLEX	2,61E1	2,97E1
12			SIMPLEX	2,13E1	2,85E1
13			SIMPLEX	2,10E1	2,91E1
14			SIMPLEX	2,25E1	2,88E1
15			SIMPLEX	2,10E1	2,82E1
16			SIMPLEX	2,25E1	2,88E1
17			SIMPLEX	2,37E1	2,91E1
18			SIMPLEX	2,19E1	2,88E1
19			SIMPLEX	2,19E1	2,88E1
20			SIMPLEX	2,16E1	2,88E1
21			SIMPLEX	2,13E1	2,88E1
22			SIMPLEX	2,22E1	2,88E1
23			SIMPLEX	2,16E1	2,88E1
24			SIMPLEX	2,22E1	2,88E1
25			SIMPLEX	2,19E1	2,88E1
26			SIMPLEX	2,22E1	2,88E1

Fig. 3 Design Schedule

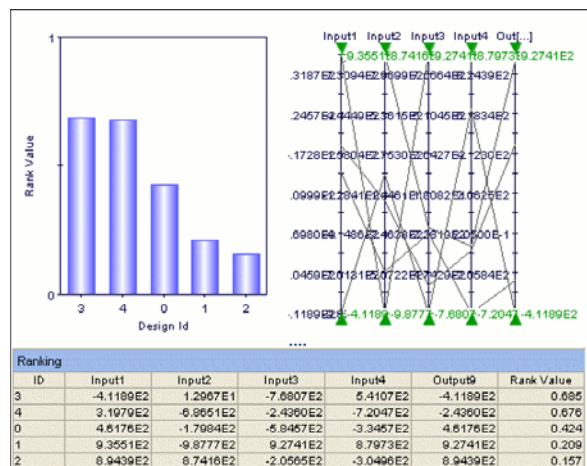


Fig. 4 MCDM Designs Panel

3. modeFRONTIER를 이용한 최적화 사례

자동차는 수많은 부품들이 조합된 완성품으로서 설계, 성능의 개선 및 내구성의 향상을 위하여 CAE 툴이 이용된지 상당히 오래되었고 초기의 몇 가지 경우에 대한 해석에서 탈피하여 근래 들어서는 원가 절감 및 경쟁력 강화를 위하여 최적화 기법이 보편화되었다고 할 수 있다. 자동차 분야에서 최적화가 이루어지고 있는 대표적인 설계분야로는 CFD, FEA, 내구성, 냉각해석, 연소 및 유압분야 등이 있다. 이러한 자동차 분야에서 modeFRONTIER를 이용한 최적설계는 다양한 폭으로 이용되어지고 있으며 여기서는 몇가지 사례를 소개하고자 한다.

3.1 냉각수 최적설계 사례

modeFRONTIER를 이용한 첫 번째 사례는 파워트레인 분야에서 최적화 기법을 이용한 사례로서 자동차 엔진에서 발생된 열을 방출하는 냉각수 회로를 최적설계 한 것이다. 일반적으로 냉각수가 흐르는 Water-Jaket을 설계하는데 있어서 냉각수가 흐르는 유량을 고르게하는 것을 중요한 설계 목적으로 삼는다. 이는 냉각수가 균일하게 흐르지 않을 경우에는 유량이 적게 흐르는 엔진에서 열해소가 제대로 되지 않아 열응력이 과도하게 나타나기 때문이다. 따라서 본 예제에서는 냉각수 유로중 하나인 Gasket형상을 설계변수로 하여 냉각수 유량의 표준편차를 최소화하고 압력강하를 최소화 하는 방법을 설계목적으로 삼아 해석을 진행하였다. 본 해석을 위하여 CFD 해석 모델로는 cooling jacket, gasket 형상이 필요하고 최적화 구현을 위하여 modeFRONTIER에 장착된 genetic algorithm이 사용되었다. 이때 CFD 해석 tool로는 CD-adapco사에서 개발하고 제공하고 있는 STAR-CCM+(STAR-CD, CD-adapco)가 이용되었다.

STAR-CCM+는 CD-adapco사에서 개발한 Java에 기반한 차세대 CFD 툴로서 격자 생성이 용이하고 특히, 복잡한 형상을 가지는 모델에서의 격자를 빠른 시간안에 만들 수 있는 특징을 가지고 있다. 아울러, Java-based로 프로그래밍되어 있어서 격자 생성(preprocessing)에서부터 결과(post-processing)를 얻기까지의 과정을 쉽게 자동화(automation)가 가능하다. Fig. 5는 본 해석에서 사용된 최적화 프로세스를 보여주고 있으며 Fig. 6은 최적화 이전과 이후의 각 실린더 사이의 유량분포를 도시해 주고

있다. 그림으로부터 살펴보면 최적화된 설계 이전보다 이후에 메인 유로로 집중되는 문제를 해결한 것을 볼 수 있으며 전체적인 최적화 History는 Fig. 7로부터 얻을 수 있다. Fig. 7은 최적화 History를 나타낸 그림으로서 Design이 진행됨에 따라 유량간의 편차가 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

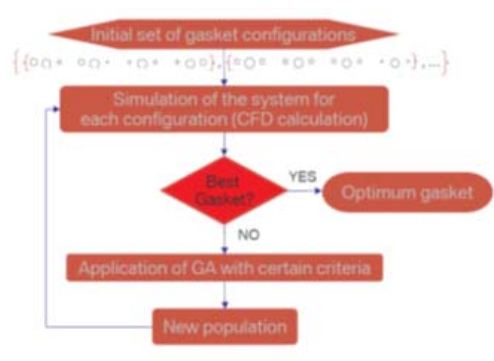


Fig. 5 Optimization Process

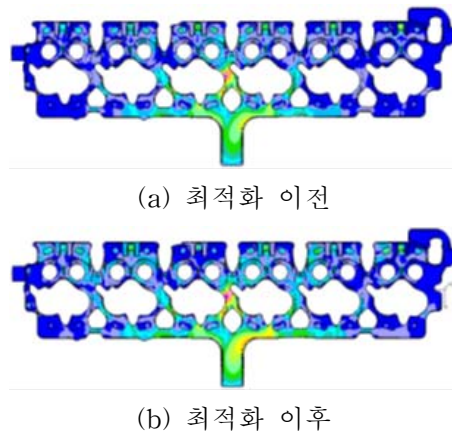


Fig. 6 최적화 이전과 이후의 속도분포

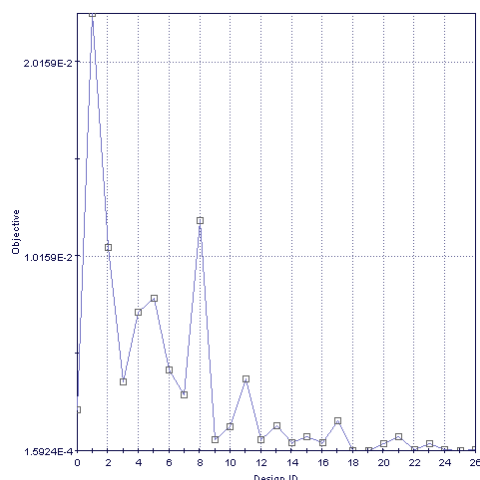


Fig. 7 최적화 History

3.2 GT-POWER와 연계한 최적설계 사례

다목적 함수(multi-objective)를 가지는 제품에 대한 설계조건에서 최적화를 구현하고자 할 경우 변수들의 변화에 따라 목적 함수들의 상호의존성 때문

에 매우 많은 조건에 대한 계산을 수행하여야 설계조건을 찾을 수 있다. 3차원 CAE 해석의 경우 해석 시간이 작게는 수십 분에서 수시간이 소요되기 때문에 일반적인 최적화 해석은 실질적으로 불가능

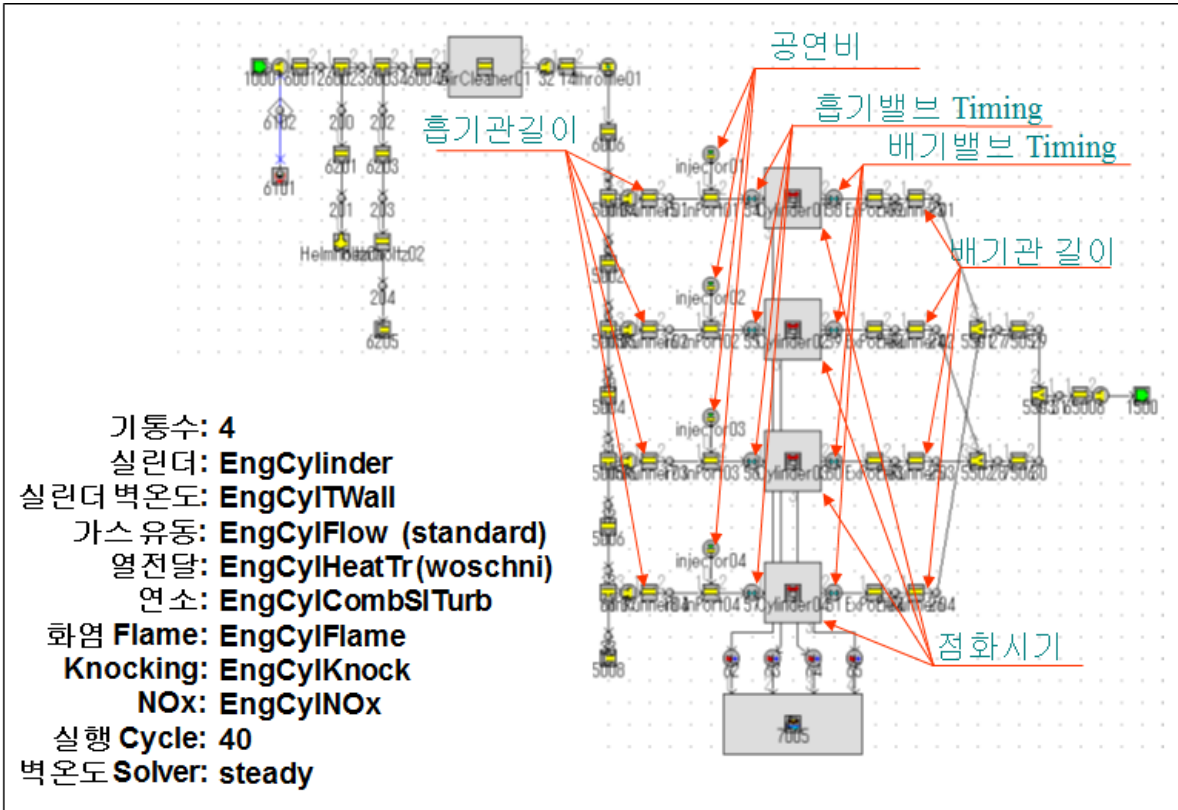


Fig. 8 GT-POWER Model

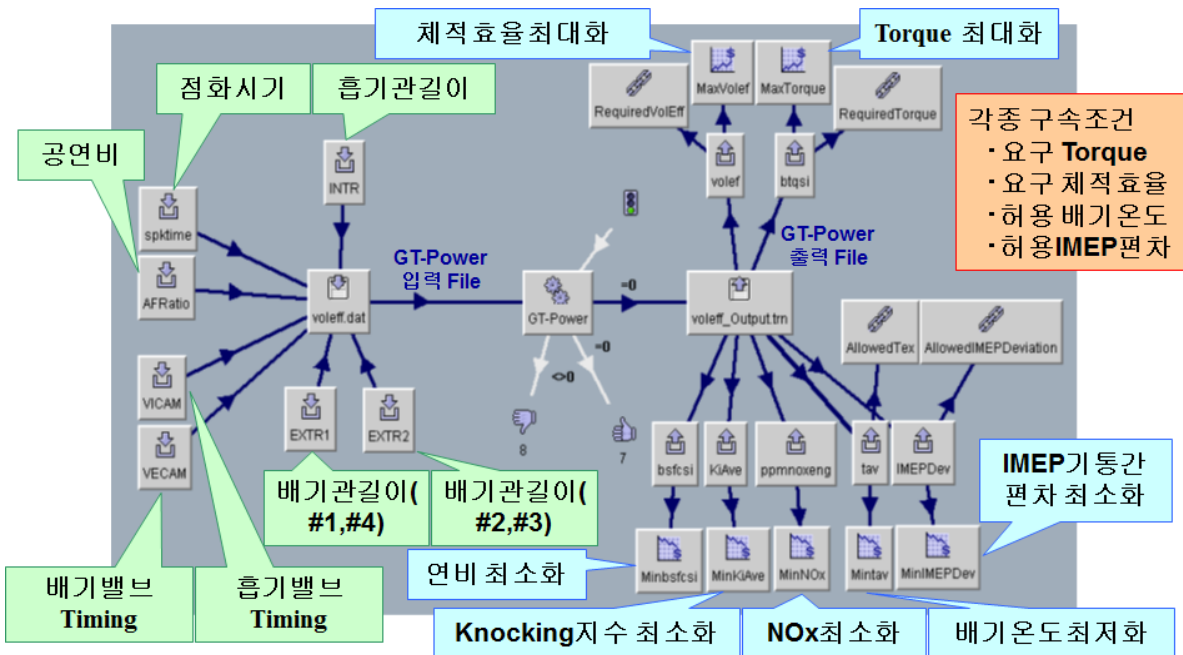


Fig. 9 modeFRONTIER Work Space

하다고 할 수 있다. 하지만 1차원 기법에 기본을 두고 개발된 솔버의 경우 해석이 실시간으로 진행될 수 있는 장점이 있어서 앞서 언급한 장애 요소가 제거될 수 있다.

GT-Power는 Gamma Technology에 개발하여 자동차회사에서 엔진 성능을 계산하는데 사용되고 있는 소프트웨어이다. 이때 엔진의 성능에 영향을 미칠 수 있는 실린더 형상치수, 흡.배기계 형상조건, 연료의 종류 및 분사 조건 등을 변수로 지정하여 엔진의 성능을 예측할 수 있다. 필요에 따라 엔진의 부품에 대한 좀더 정확한 모델이 필요할 경우 이를 3차원 CAE 모델로 해석하여 이에 대한 입출구 조건을 GT-Power와 연동할 수 계산할 수도 있다. Fig. 8은 4-Stroke, 4-Cylinder, 2.2리터 엔진의 GT-Power 기준 모델을 보여준다. 녹색으로 보여지는 부분이 설계변수이며 이 예서는 설계변수로서 흡기관의 길이, 공연비, 흡기밸브 Timing, 배기밸브 Timing, 배기관의 길이, 점화시기를 설계변수로 이

용하였다. Fig. 9에는 modeFRONTIER의 Work Space를 나타낸 그림으로서 Fig. 8에 표현한 설계 변수를 비롯하여 다양한 목적함수까지 표현되어 있다. 이해석의 목적함수는 체적효율, Torque의 최대화, 연비, Knocking, NOx, 배기온도, IMEP의 기통간 편차의 최소화를 목적함수로 설정하여 계산한다. Fig. 10은 modeFRONTIER를 이용하여 다양한 변수들의 변화에 따른 Torque, 체적효율, 연비, Knocking, 등의 값을 계산한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 Design의 변화에 따라 목적함수의 변화를 나타내는 결과를 볼 수 다. 이때 설계값을 기준으로 하여 입력값의 작은 변화가 출력값에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 시뮬레이션이 필요한데 이 부분도 상기 소프트웨어에서 제공하고 있는 MCDM방법을 이용하여 예측이 가능하다. 일반적으로 여러 Parameter들을 조합하게 되면 최적해를 얻어내는 것이 극히 어려우나 modeFRONTIER에서는 다목적함수의 최적화가 가능하기 때문에 이러한

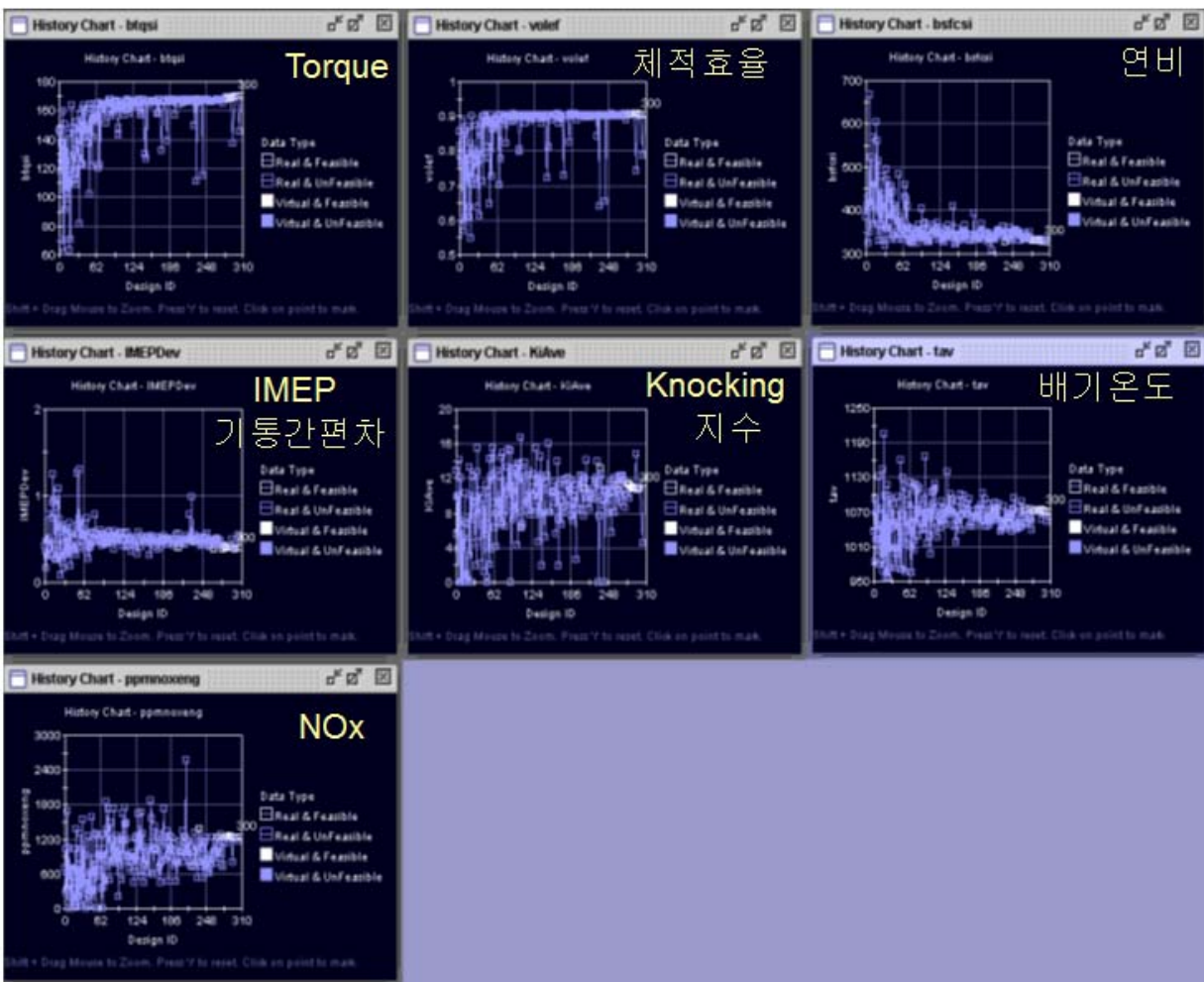


Fig. 10 Analysis Results

경우에 특히 다른 최적화 방법에 비해 큰 이점을 지닌다.

4. 결 론

앞서 언급한 바와 같이 modeFRONTIER는 다양한 종류의 공학분야에 사용이 가능하며 특히, 일차원 해석에 기반한 CAE 소프트웨어의 경우 해석시간이 짧으므로 이 분야의 해석툴과 연동하여 사용하게 되면 원하는 설계 조건을 도출하는데 많은 도움을 받을 수 있을 것으로 생각된다. 유압 회로에서의 열 및 유동에 관한 특성을 해석하는 CAE 소프트웨어(Amesim, Simulink, Matlab, Exel)는 주로 1차원 방법에 의하며 이루어지고 있기 때문에 효율

적인 설계가 가능할 것이다.

[저자 소개]

박준정

E-mail: junjung.park@cd-adapco.com

Tel : 02-6344-6538

1981년 10월 27일생

2007년 서울시립대학교 기계정보공학과 석사과정 졸업 현재 동대학원 박사과정 재학중



2006년 CD-adapco입사, 동 회사에서 유동해석 STAR-CCM+, 1D성능해석 GT-POWER, 최적화 modeFRONTIER 소프트웨어의 선행기술개발 및 신기술지원 업무에 종사.