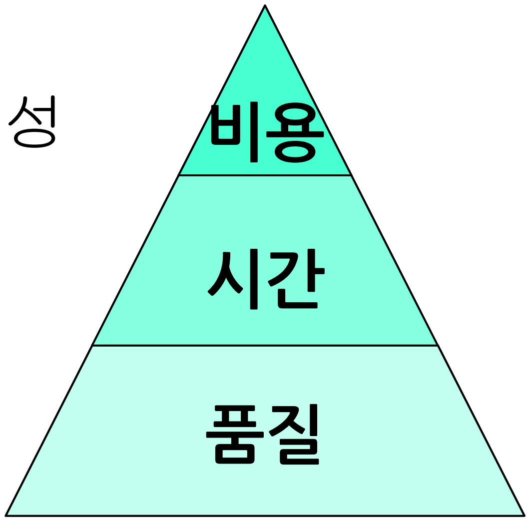
목 차

- 최적설계의 배경 및 필요성
- 해석 vs. 설계
- 적정설계 vs. 최적설계
- 최적설계문제 정식화
- 최적성조건: KKT필요조건
- 최적설계 해법
  - Microsoft Excel
  - Mathworks MATLAB
  - 사례: 압축코일스프링

제품 개발의 3대 요소 및 목표

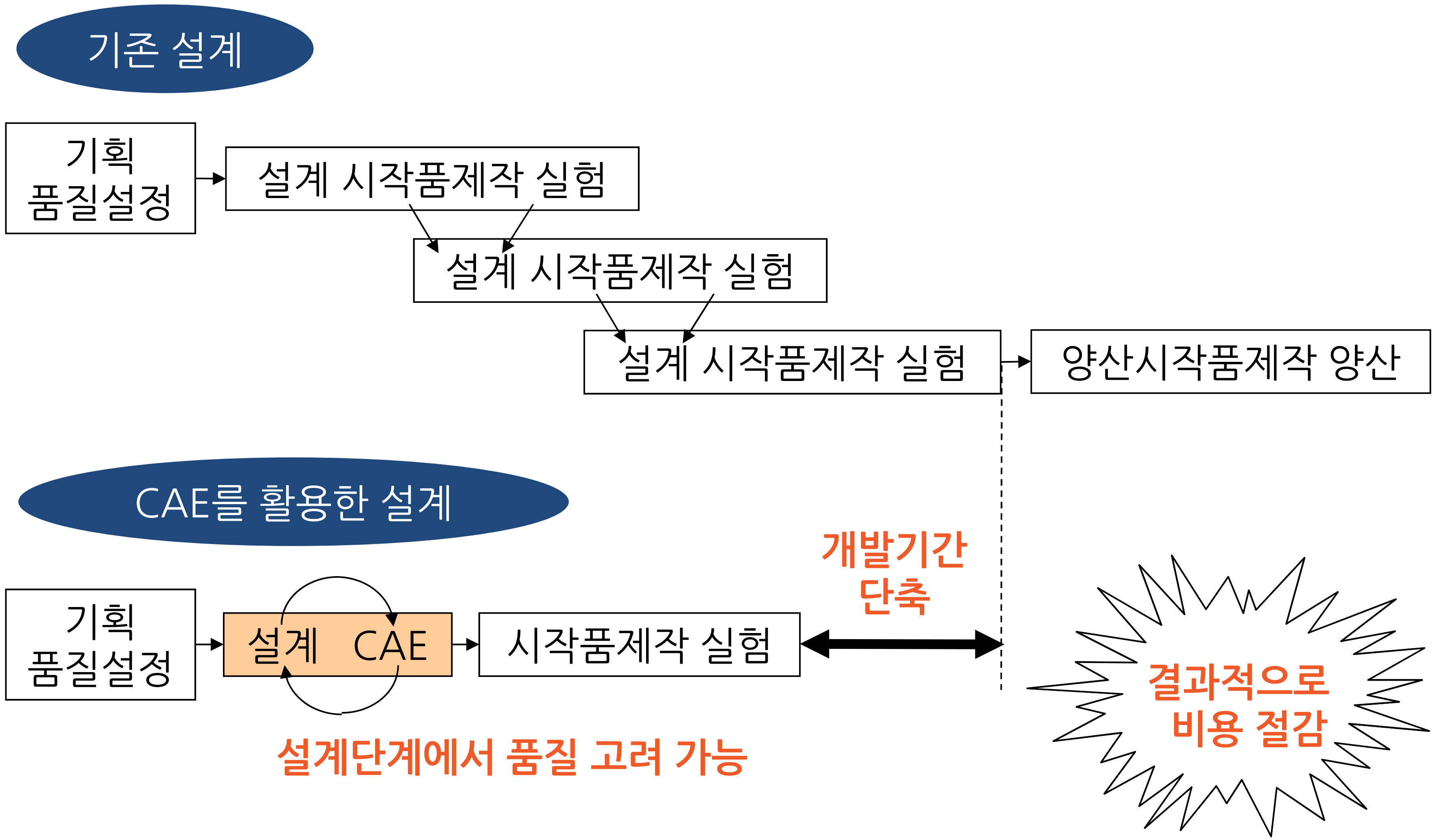
- 비용 (COST)
  - 제품 생산에 투입되는 비용의 최소화
- 시간 (Lead Time)
  - 신제품 개발이나 설계변경에 걸리는 시간의 단축
- 품질 (Quality)
  - 소비자의 기대를 제품에 반영한 정도인 품질의 향상

- 목표: 최저의 비용으로 필요한 기능을 달성



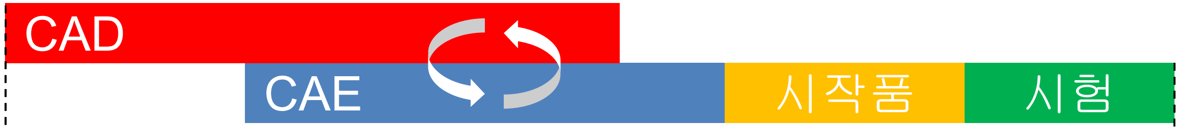
- CAE 도입 및 활용: 선택이 아닌 필수 !!!
  - 예측 (prediction)
  - 검증 (verification)

CAE의 역할: 제품 개발 목표 달성에 필수



CAE 역할의 패러다임 변화

CAD 주도 패러다임



제품개발 주기 단축
- 시작품 제작 최소화
- 물리적 시험 횟수가 줄거나 CAE로 대치

기존설계 검증 도구
- 대부분 설계는 이전 경험이나 판단에 기초
- 구조해석을 포함한 CAE는 부품 거동 예측에만 사용

CAE 주도 패러다임

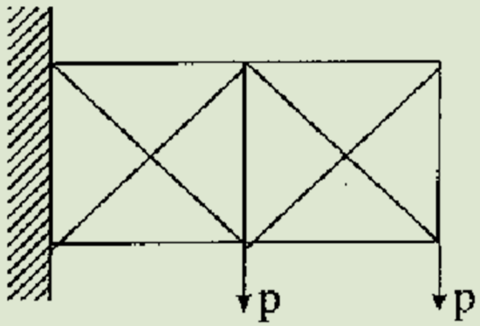
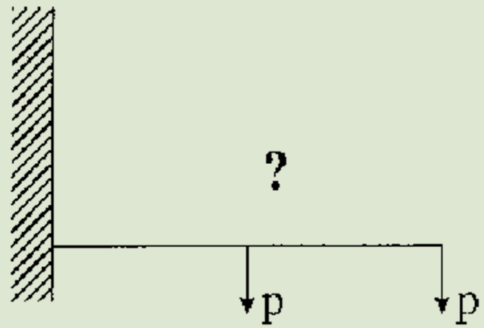
개념설계 단계에서 시뮬레이션 수행

- 기능 확인, 기하형상, 재료 등 주요 결정: **최적화 기능 필수**

상계설계 또는 시작품 제작 이전에 다양한 설계안 검토

- 문제점 조기 발견, 제품성능 최적화: **설계 주도**

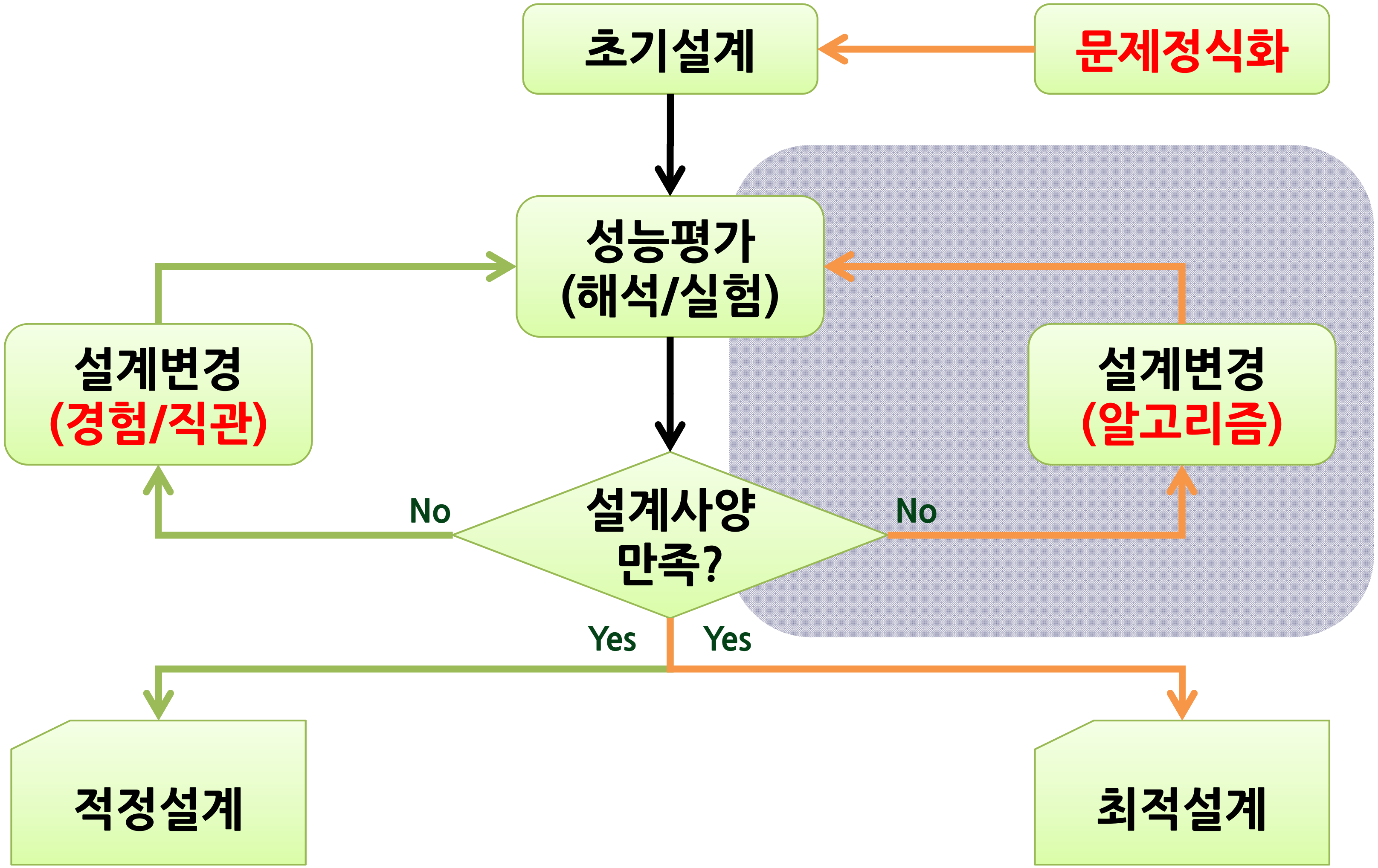
해석 vs. 설계

해석 (Analysis)	설계 (Design)
	
$\delta = ?$ $\sigma = ?$	$\delta \le \delta_{allow}$ $\sigma \le \sigma_{allow}$
•주어진 시스템의 반응을 구하는 과정 •미지수의 개수 = 방정식의 개수	•요구되는 조건을 만족하는 시스템을 결정하는 과정 •미지수의 개수 > 방정식의 개수

적정설계 vs. 최적설계: 개념

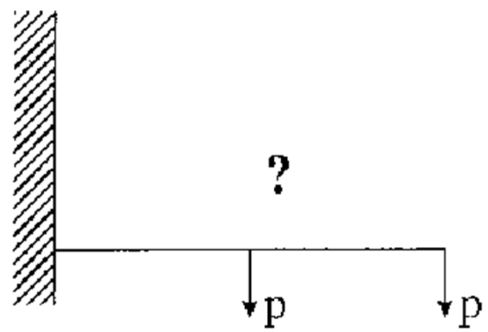
- **적정설계**: 요구되는 설계조건을 만족하는 많은 해 중의 하나를 구하는 과정
- **최적설계**: 요구되는 설계조건을 만족하는 많은 해 중에서 가장 중요한 바람직하지 않은 성능지수를 최소화하거나 가장 중요한 바람직한 성능지수를 최대화하는 해를 구하는 과정
- **바람직하지 않은 성능지수 예**
  - 생산가, 중량, 응력, 처짐, 진동, 소음, 소요공간
- **바람직한 성능지수 예**
  - 수명, 안전계수, 에너지 흡수능력, 동력전달능력

적정설계 vs. 최적설계: 흐름도



최적설계문제 정식화: 수학적 표현

- 설계요구사항들 정리: 해석과정 정립
  - 최대응력이 허용응력보다 작아야 한다.
  - 고유진동수가 한계값보다 커야 한다.
  - 유량이 한계값보다 커야 한다.
  - 중량 최소화
  - 효율 최대화



- 설계변수: 설계를 표현하는 파라미터
- 목적함수: 선택된 가장 중요한 성능지수
  - 정의한 설계변수들로 표현 가능해야 함
- 구속조건: 만족되어야 하는 설계조건
  - 정의한 설계변수들로 표현 가능해야 함

부재단면적 (A_i)

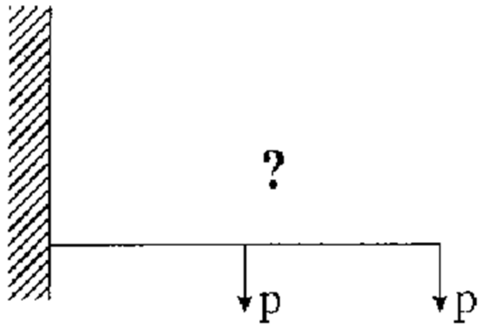
중량 최소화 ($\sum_i A_i L_i$)

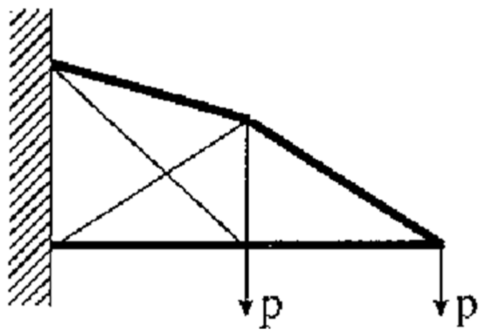
변위 ($\delta \le \delta_{allow}$)

응력 ($\sigma \le \sigma_{allow}$)

최적설계문제 정식화: 수학적 표현

- 설계요구사항들 정리: 해석과정 정립
  - 최대응력이 허용응력보다 작아야 한다.
  - 고유진동수가 한계값보다 커야 한다.
  - 유량이 한계값보다 커야 한다.
  - 중량 최소화
  - 효율 최대화
- 설계변수: 설계를 표현하는 파라미터
- 목적함수: 선택된 가장 중요한 성능지수
  - 정의한 설계변수들로 표현 가능해야 함
- 구속조건: 만족되어야 하는 설계조건
  - 정의한 설계변수들로 표현 가능해야 함





설계문제 vs. 최적화문제

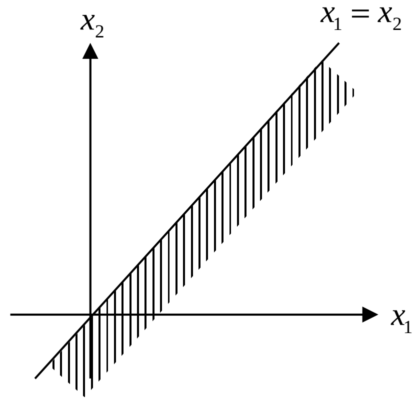
설계문제 (공학)	최적화문제 (수학)
중량감소 (-) / 성능향상 (+)	Minimize / Maximize $f(\mathbf{x})$
$K\delta = P$ $(K - \lambda M)\Phi = 0$	$h_k(\mathbf{x}) = 0 \qquad k = 1,\ldots,p$
$\sigma \le \sigma_{allow} \quad \to \quad \sigma - \sigma_{allow} \le 0$ $\delta \le \delta_{allow} \quad \to \quad \delta \le \delta_{allow} \le 0$ $\lambda \ge \lambda^L \quad \to \quad \lambda^L - \lambda \le 0$	$g_j(\mathbf{x}) \le 0 \qquad j = 1,\ldots,m$
설계변수에 대한 제한조건	$x_i^L \le x_i \le x_i^U \qquad i = 1,\ldots,n$

Problem Formulation Process

- Step 1: Project/Problem Statement
  - Is the project goal clear?
- Step 2: Data and Information Collection
  - Is all the information available to solve the problem?
  - Performance requirements, resource limits
  - Identification of analysis procedures and tools
- Step 3: Identification/Definition of Design Variables
  - What are these variables? How do I identify them?
- Step 4: Identification of a Criterion to Be Optimized
  - How do I know that my design is the best?
- Step 5: Identification of Constraints
  - What restrictions do I have on my design?

Problem Formulation Steps

- Identification of *design variables*
  - Parameters chosen to describe the design
  - Independent of each other, minimum number
- Identification of an *objective (cost) functions*
  - Criterion to compare various designs
  - As a function of the design variables
  - Single/Multi-objective
- Identification of all *design constraints*
  - All restrictions placed on a design
  - Feasible/Infeasible
  - Explicit($y(x) = x^2 - 2x$)/Implicit($y^3 - y^2x + yx - \sqrt{x} = 0$), Linear/Nonlinear, Equality/Inequality

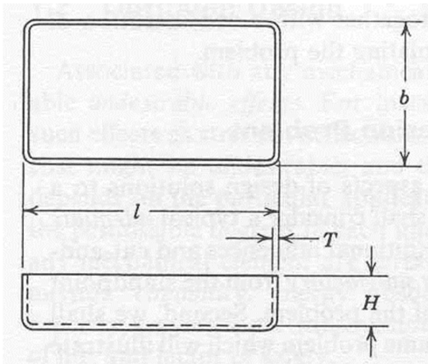


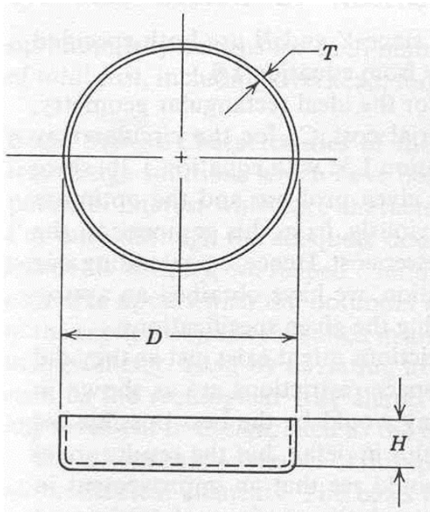
최적설계문제 정식화: 예제

- 플라스틱 접시 설계
  - 주어진 양(V)의 액체를 담아야 함
  - 접시의 깊이(H)와 두께(T)는 정해짐
  - 대량생산함
- 설계 의사결정
  - 형상: 사각형? 원형?
  - 재료(공정포함): 아크릴? 폴리스틸렌?

최적설계문제 정식화: 예제

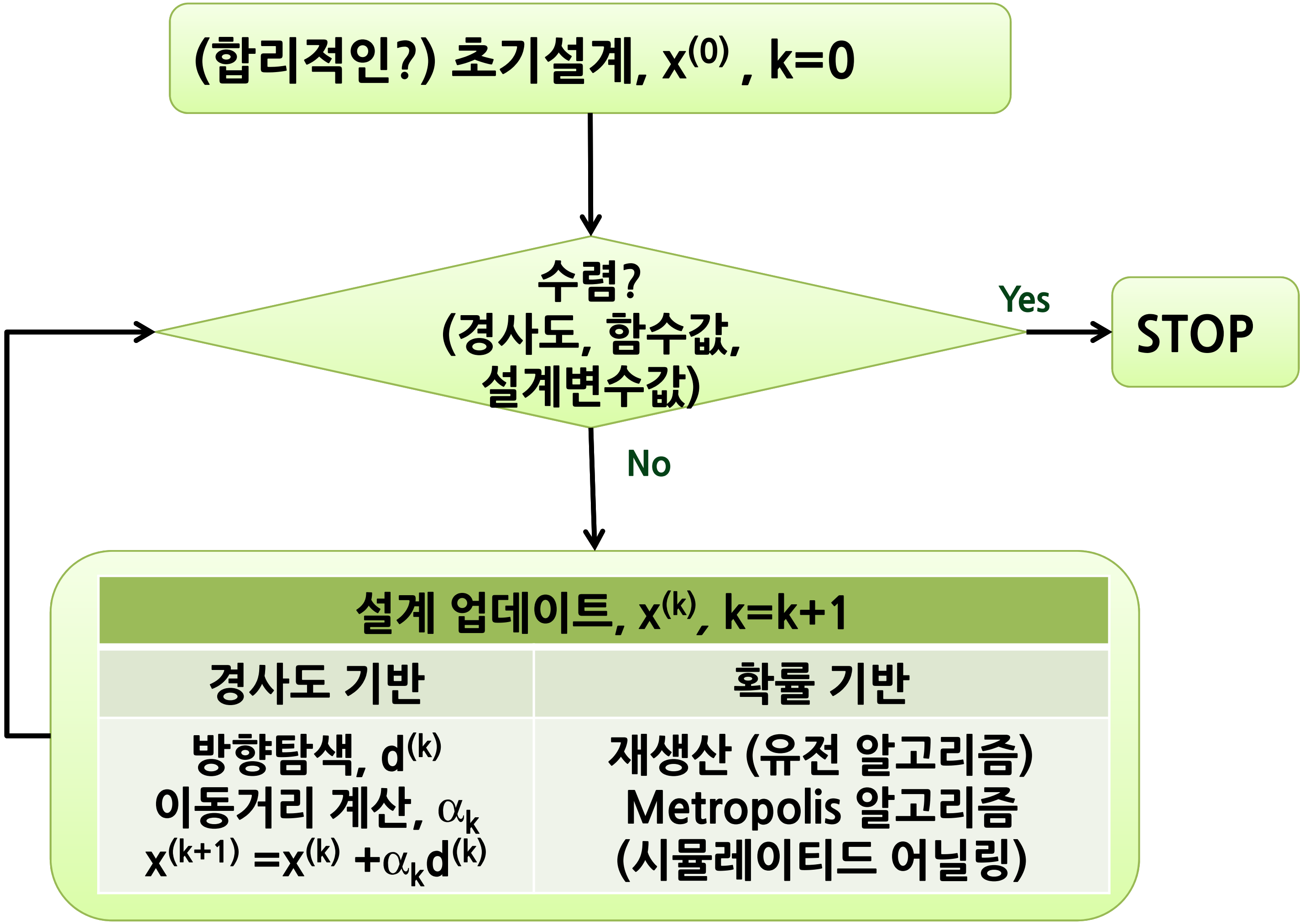
- 플라스틱 접시 설계
  - 주어진 양(V)의 액체를 담아야 함
  - 접시의 깊이(H)와 두께(T)는 정해짐
  - 대량생산함
- 설계 의사결정
  - 형상: 사각형? 원형?
  - 재료(공정포함): 아크릴? 폴리스틸렌?





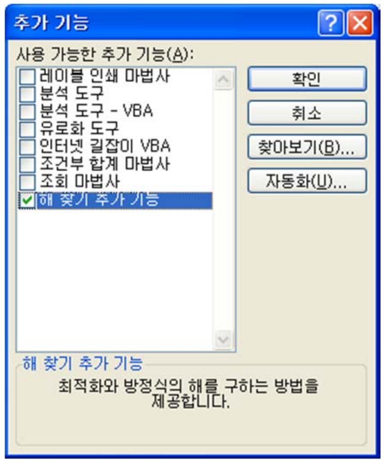
단면형상	설계변수	목적함수	제약조건	최적해
사각형	l, b	C=c(bl+2bH+2lH)T	V=blH (T<<b, l)	b=l=(V/H)^0.5
원형	D	C=c(πD^2/4+πDH)T	V=(πD^2/4)H (T<<D)	D=(4V/πH)^0.5

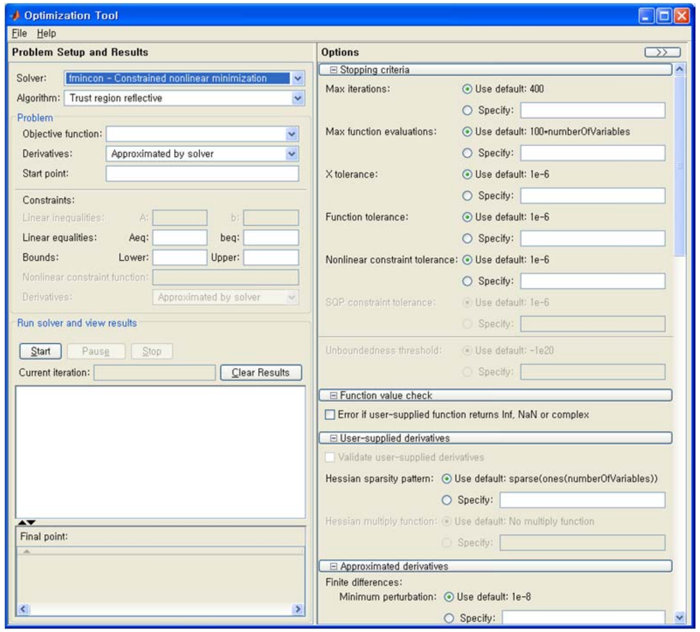
최적설계문제 해법: 일반적 알고리즘



최적설계문제 해법: 소프트웨어 활용

- MS Excel
  - GRG2, 설치: 옵션>추가기능>해찾기 추가기능
- MATLAB
  - Optimization Toolbox: fmincon (SQP)
  - Global Optimization Toolbox: GA, SA
- 최적설계 전문 소프트웨어
  - 다양한 최적화 알고리즘





제약최적설계 문제

- 등호제약조건과 부등호제약조건을 만족하면서 목적함수를 최소화하는 설계변수벡터를 찾는 것

$$\boxed{\begin{aligned} & f(\boldsymbol{x}) = f(x_1, \ldots, x_n) \\ & h_j(\boldsymbol{x}) = 0; \quad j = 1, \ldots, p \\ & g_i(\boldsymbol{x}) \le 0; \quad i = 1, \ldots, m \end{aligned}}$$

- 제약함수들이 최적해를 구하는데 결정적인 역할
  - 해가 존재하지 않을 수도 있음: 과제약 (overconstrained)
- 라그란지승수 (Lagrange multiplier)
  - 각각의 제약조건에 대응하는 승수 (scalar multiplier)
  - 목적함수나 제약함수의 형태에 따라 좌우

등호제약조건이 양함수가 아닌 경우

$$\frac{df(x_1,x_2)}{dx_1}=\frac{\partial f(x_1,x_2)}{\partial x_1}+\frac{\partial f(x_1,x_2)}{\partial x_2}\frac{dx_2}{dx_1}=0$$

$$\rightarrow \frac{\partial f(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_1}+\frac{\partial f(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_2}\frac{d\phi}{dx_1}=0 \quad @\,\text{optimum}$$

$$\frac{dh(x_1^*,x_2^*)}{dx_1}=\frac{\partial h(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_1}+\frac{\partial h(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_2}\frac{d\phi}{dx_1}=0 \rightarrow \frac{d\phi}{dx_1}=-\frac{\partial h(x_1^*,x_2^*)/\partial x_1}{\partial h(x_1^*,x_2^*)/\partial x_2}$$

$$\frac{\partial f(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_1}-\frac{\partial f(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_2}\left[\frac{\partial h(x_1^*,x_2^*)/\partial x_1}{\partial h(x_1^*,x_2^*)/\partial x_2}\right]=0$$

$$v=-\frac{\partial f(x_1^*,x_2^*)/\partial x_2}{\partial h(x_1^*,x_2^*)/\partial x_2}$$

$$\boxed{\begin{array}{l}\left\{\begin{array}{l}\dfrac{\partial f(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_1}+v\dfrac{\partial h(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_1}=0\\[2ex] \dfrac{\partial f(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_2}+v\dfrac{\partial h(x_1^*,x_2^*)}{\partial x_2}=0\end{array}\right.\\[2ex] h(x_1,x_2)=0\end{array}}$$

라그란지승수의 기하학적 의미

$$L(x_1, x_2, v) = f(x_1, x_2) + vh(x_1, x_2)$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial L(x_1^*, x_2^*)}{\partial x_1} &= 0 \\ \frac{\partial L(x_1^*, x_2^*)}{\partial x_2} &= 0 \end{aligned}\right\} \rightarrow \nabla L(x_1^*, x_2^*) = \nabla f(\mathbf{x}^*) + v\nabla h(\mathbf{x}^*) = 0$$

$$\boxed{\nabla f(\mathbf{x}^*) = -v\nabla h(\mathbf{x}^*)}$$

- 후보최적점에서 목적함수 및 제약함수들의 경사도벡터들은 동일 작용선상에 있고 서로 비례함
- 라그란지승수는 비례상수 (제약을 가하기 위해 필요한 힘으로 해석 가능)
- 등호제약조건에 대한 라그란지승수의 부호는 제약이 없음

라그란지승수정리

– 등호제약조건으로 $h_j(\mathbf{x})=0;\ j=1,\ldots,p$ 가 있는 $f(x)$ 의 최소화 문제를 고려해 보자. x* 를 이 문제의 국부적 최소인 정칙점이라고 하면 다음을 만족하는 라그란지승수 $v_j^*,\ j=1,\ldots,p$ 가 존재한다.

$$\frac{df(x^*)}{dx_i}+\sum_{j=1}^{p}v_j^*\frac{dh_j(x^*)}{dx_i}=0\rightarrow\frac{df(x^*)}{dx_i}=-\sum_{j=1}^{p}v_j^*\frac{dh_j(x^*)}{dx_i};\qquad i=1,\ldots,n$$

$$h_j(x^*)=0;\qquad j=1,\ldots,p$$

– 후보최적점에서 목적함수의 경사도벡터는 제약함수의 경사도벡터들의 선형결합

$$L(x,v)=f(x)+\sum_{j=1}^{p}v_jh_j(x)=f(x)+v^Th(x)$$

$$\rightarrow\begin{cases}\nabla L(x^*,v^*)=0\quad \text{or}\quad \dfrac{\partial L(x^*,v^*)}{\partial x_i}=0;\qquad i=1,\ldots,n\\[2ex] \dfrac{\partial L(x^*,v^*)}{\partial v_j}=h_j(x^*)=0;\qquad j=1,\ldots,p\end{cases}$$

필요조건: 부등호제약조건

- 완화변수(slack variable)를 더하여 등호제약조건으로 변환

$$g_i(\boldsymbol{x}) \le 0 \rightarrow g_i(\boldsymbol{x}) + s_i^{\,2} = 0 \quad i = 1, \ldots, m$$

$$\text{slack variable} : s_i^{\,2} \ (\text{why? avoid additional constraints } s_i \ge 0)$$

$$\begin{cases} s_i^{\,2} = 0 : \text{equality} \rightarrow \text{active (tight) constraint} \\ s_i^{\,2} > 0 : \text{inequality} \rightarrow \text{inactive constraint} \end{cases}$$

- "≤ type" 제약조건의 라그란지승수에 대한 추가적인 필요조건
  - u_j^* 는 j 번째 부등호제약조건에 대한 라그란지승수: $u_j^* \ge 0 \ \ (j = 1, \ldots, m)$

	minimize	maximize
$g_i(\boldsymbol{x}) \le 0$	$u_i^* \ge 0$	$u_i^* \le 0$
$g_i(\boldsymbol{x}) \ge 0$	$u_i^* \le 0$	$u_i^* \ge 0$

Kuhn-Tucker necessary conditions (1)

- x^* 가 제약집합내의 정칙점이고, 다음의 제약조건 하에서 함수 *f(x)*의 국부적 최소점이라 하자.

$$h_i(\boldsymbol{x}) = 0; \quad i = 1, \ldots, p \quad \text{and} \quad g_j(\boldsymbol{x}) \le 0; \quad j = 1, \ldots, m$$

- 이 문제의 라그란지함수를 다음과 같이 정의한다.

$$L(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{v}, \boldsymbol{u}, \boldsymbol{s}) = f(\boldsymbol{x}) + \sum_{i=1}^{p} v_i h_i(\boldsymbol{x}) + \sum_{i=1}^{m} u_i \left[g_i(\boldsymbol{x}) + s_i^{\,2} \right] = f(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{v}^T \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{u}^T \left[\boldsymbol{g}(\boldsymbol{x}) + \mathrm{s}^2 \right]$$

- 그러면 다음 조건을 만족하는 라그란지승수 v* 와 u* 가 존재한다.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial L}{\partial x_j} \equiv \dfrac{\partial f}{\partial x_j} + \displaystyle\sum_{i=1}^{p} v_i^{\,*} \dfrac{\partial h_i}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^{m} u_i^{\,*} \dfrac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0; \quad j = 1, \ldots, n \\ h_i(\mathbf{x}^*) = 0; \quad i = 1, \ldots, p \\ g_i(\mathbf{x}^*) + s_i^{\,2} = 0; \quad i = 1, \ldots, m \\ u_i^{\,*} s_i = 0; \quad i = 1, \ldots, m \ \text{(switching conditions)} \\ u_i^{\,*} \ge 0; \quad i = 1, \ldots, m \end{cases}$$

Kuhn-Tucker necessary conditions (2)

- 1차 필요조건
  - 어떤 주어진 점에 대한 최적성을 점검 / 후보최적점을 결정
- 기하학적 의미
  - 목적함수의 음의 경사도벡터방향이 제약함수의 경사도벡터들의 선형결합이며, 라그란지승수가 선형결합의 상수로서 사용

$$-\frac{\partial f}{\partial x_j} = \sum_{i=1}^{p} v_i^* \frac{\partial h_i}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^{m} u_i^* \frac{\partial g_i}{\partial x_j}; \qquad j = 1, \ldots, n$$

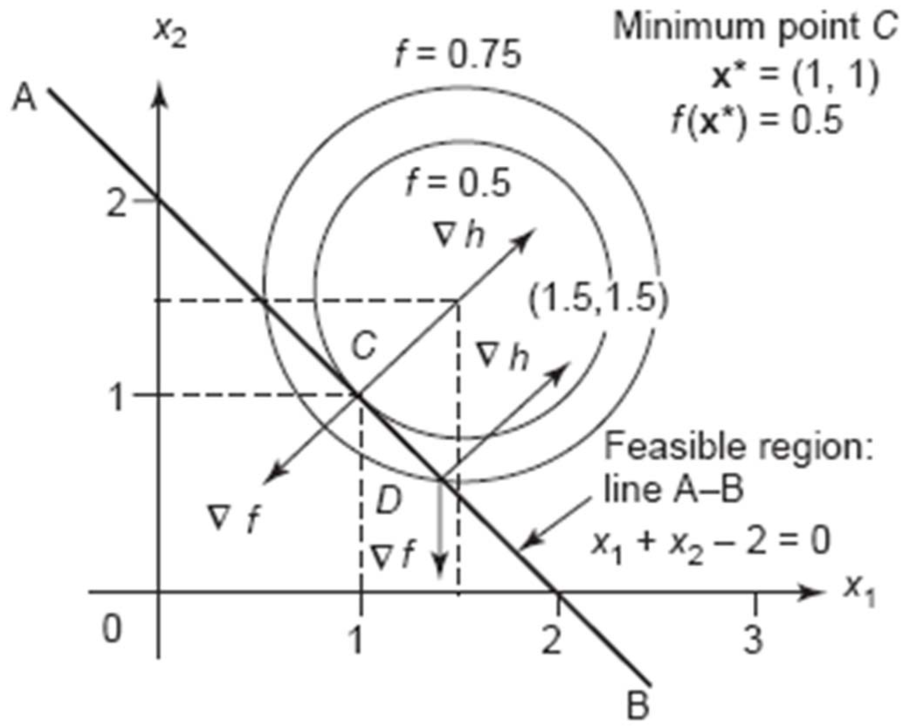
- 미지수의 개수: x, u, s, v (n+2m+p) = # of eqns
- 전환조건(switching condition) 또는 보충완화조건 (complementary slackness condition)

$$\begin{cases} g_i\left(\mathbf{x}^*\right) < 0 \text{ (inactive, } s_i^2 > 0) \rightarrow u_i^* = 0 \\ g_i\left(\mathbf{x}^*\right) = 0 \text{ (active, } s_i^2 = 0) \rightarrow u_i^* \geq 0 \end{cases}$$

Example

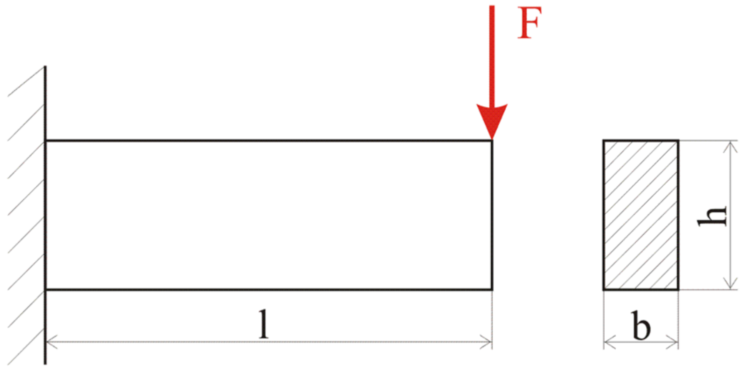
$$\textit{Minimize}\ \ f(x_1, x_2) = (x_1 - 1.5)^2 + (x_2 - 1.5)^2$$

$$\textit{subject to}\ \ g(\mathbf{x}) = x_1 + x_2 - 2 \le 0$$



Beam Design Problem

- Cantilever beam loaded with force F=2400 N. Minimize weight such that stresses do not exceed yield. Further the height h should not be larger than twice the width b.



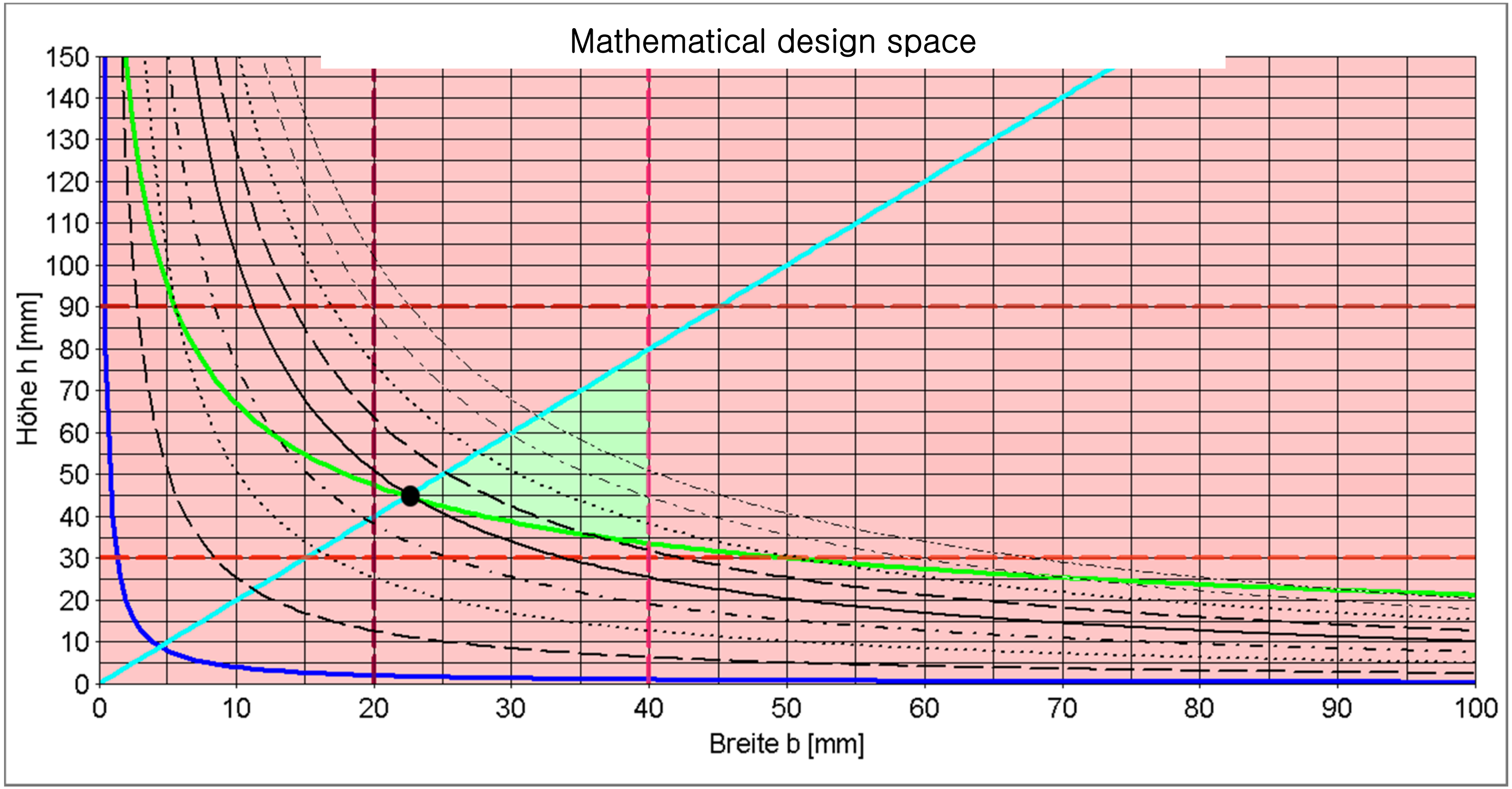
- Objective
  - Weight: Min $m(b,h)$
- Design variables
  - Width: $b^L \leq b \leq b^U$, $20 \leq b \leq 40$
  - Height: $h^L \leq h \leq h^U$, $30 \leq h \leq 90$
- Design constraints:

$\sigma(b,h) \leq \sigma_{max}$, *with* σ_{max} = 160 MPa

$\tau(b,h) \leq \tau_{max}$, *with* τ_{max} = 60 MPa

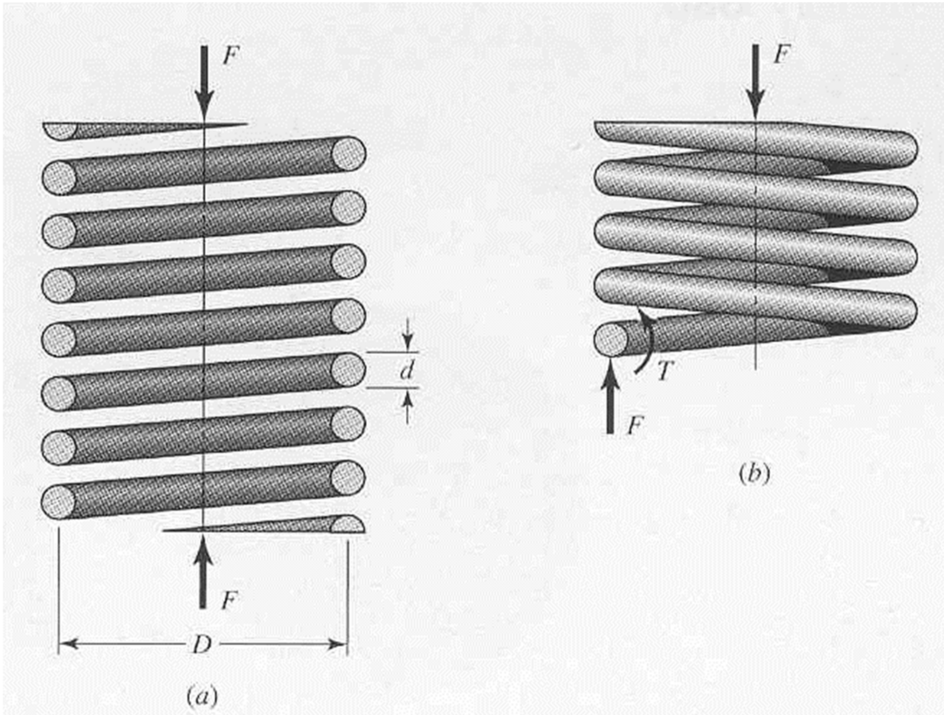
$h \leq 2*b$

Graphical Solution



Design of Coil Spring

- Problem statement
  - To design a minimum mass spring to carry a given axial load without material failure and while satisfying two performance requirement: the spring must deflect by at least Δ (in), and the frequency of surge waves must not be less than f_0 (Hz)



Data and Information Collection (1)

- Deflection along the axis of the spring: δ (in)
- Mean coil diameter: D (in)
- Wire diameter: d (in)
- Number of active coils: N
- Gravitational constant: $g = 386$ (in/s^2)
- Frequency of surge waves: f (Hz)

Data and Information Collection (2)

- Material property
  - Weight density: $\gamma = 0.285$ (lb/in^3)
  - Shear modulus: G = 1.15E7 (lb/in^2)
  - Mass density: ρ = 7.38342E-4 (lb-s^2/in^4)
  - Allowable shear stress: τ_a = 80000 (lb/in^2)
- Other data
  - Number of inactive coils: Q = 2
  - Applied load: P = 10 (lbs)
  - Minimum spring deflection: Δ = 0.5 (in)
  - Lower limit on surge wave frequency: = 100 (Hz)
  - Limit on outer diameter of the coil: D_0 = 1.5 (in)

Design equations for the spring (1)

- Load-deflection

$$U=\frac{T^2L}{\underbrace{2GJ}_{torsion}}+\frac{F^2L}{\underbrace{2GA}_{shear}}=\frac{F^2(D/2)^2\pi D(N+Q)}{2G\left(\pi d^4/32\right)}+\frac{F^2\pi D(N+Q)}{2G\left(\pi d^2/4\right)}=\frac{4F^2D^3(N+Q)}{d^4G}+\frac{2F^2D(N+Q)}{d^2G}$$

$$\xrightarrow{\text{by Castigliago's theorm}}\delta=\frac{\partial U}{\partial F}=\frac{8FD^3(N+Q)}{d^4G}+\frac{4FD(N+Q)}{d^2G}=\frac{8FD^3(N+Q)}{d^4G}\left(1+\frac{1}{2C^2}\right)$$

$$\approx\frac{8FD^3(N+Q)}{d^4G}$$

Design equations for the spring (2)

- Shear stress

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A} = \frac{F\left(D/2\right)\left(d/2\right)}{\left(\pi d^4/32\right)} + \frac{F}{\pi d^2/4} = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2}$$

$$= \frac{8FD + 4Fd}{\pi d^3} = \left(1 + \frac{d}{2D}\right)\frac{8FD}{\pi d^3} = K_s \frac{8FD}{\pi d^3}$$

$$\begin{cases} K_s = 1 + 0.5\dfrac{d}{D} = 1 + \dfrac{0.5}{C} \\ K_w = \dfrac{4D - d}{4\left(D - d\right)} + \dfrac{0.615d}{D} = \dfrac{4C - 1}{4C - 4} + \dfrac{0.615}{C} \end{cases}$$

$$C = \frac{D}{d}\text{: spring index}$$

Design equations for the spring (3)

- Frequency of surge waves

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{W}{kgl^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad B.C. \;\; u(0,t) = 0 \;\; and \;\; u(l,t) = 0$$

$$W = AL\gamma = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)(\pi DN)\gamma = \frac{\pi^2 d^2 DN\gamma}{4}$$

$$\omega_m = m\pi\sqrt{\frac{kg}{W}}, \quad fundamental \;\; frequency \; (m=1)$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{kg}{W}} = \frac{2}{\pi N}\frac{d}{D^2}\sqrt{\frac{Gg}{32\gamma}} = \frac{d}{2\pi ND^2}\sqrt{\frac{G}{2\rho}}$$

Problem Formulation

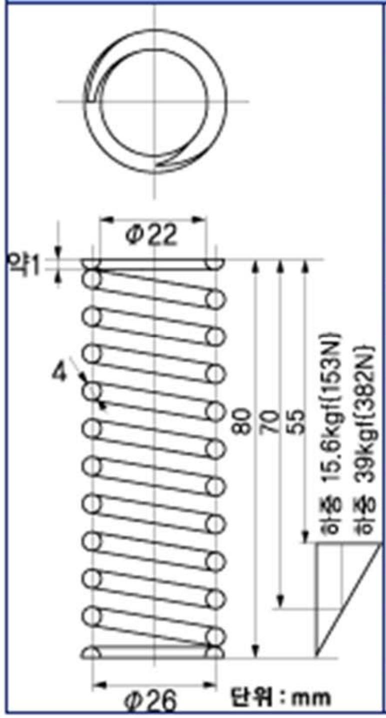
- Identification of design variables
  - Wire diameter: d
  - Mean coil diameter: D
  - Number of active coils: N
- Identification of an objective function
  - Mass

$$m = \rho AL = \rho\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)\pi D(N+Q) = \frac{\pi^2 \rho d^2 D(N+Q)}{4}$$

- Identification of constraints
  - Deflection: $\delta \geq \Delta$
  - Shear stress: $\tau \leq \tau_a$
  - Frequency of surge waves: $f \geq f_0$
  - Diameter: $D + d \leq D_0$
  - Side constraints: $d_{min} \leq d \leq d_{max}$, $D_{min} \leq D \leq D_{max}$, $N_{min} \leq N \leq N_{max}$

최적설계문제 정식화 예: 압축코일스프링(1)

주문시 시방서 기재 사항(보기) 압축코일 스프링의 경우



재료		PW3
재료의 지름(mm)		4
코일의 평균지름(mm)		26
코일의 안지름(mm)		22 ± 0.4
유효 감김수		9.5
총 감김수		11.5
감김 방향		오른쪽
자유 높이(mm)		80
부착시	하중(kgf){N}	15.6 ± 10% (153 ± 10%)
	높이(mm)	70
최대 하중시	하중(kgf){N}	39 (382)
	높이(mm)	55
스프링 상수(kgf/mm){N/mm}		1.56 (15.3)
표면처리		숏피닝
기타요구사항		-

- 설계변수: 선두께(d), 코일 평균지름(D), 유효 감김수(N)
- 목적함수: 질량 최소화 (경량화)
- 구속조건: 압축량(δ), 전단응력(τ), 고유주파수(f), 기하학적 제약

최적설계문제 정식화 예: 압축코일스프링(2)

$$\underset{d,D,N}{\text{Minimize}} \quad \frac{\pi^2 \rho d^2 D (N+Q)}{4}$$

목적함수: 질량

설계변수

$$\text{subject to} \quad \frac{8FD^3(N+Q)}{d^4 G} \geq \Delta$$

압축량

$$\left[\frac{4D-d}{4(D-d)} + \frac{0.615d}{D}\right]\frac{8FD}{\pi d^3} \leq \tau_a$$

전단응력

$$\frac{d}{2\pi N D^2}\sqrt{\frac{G}{2\rho}} \geq f_0$$

고유주파수

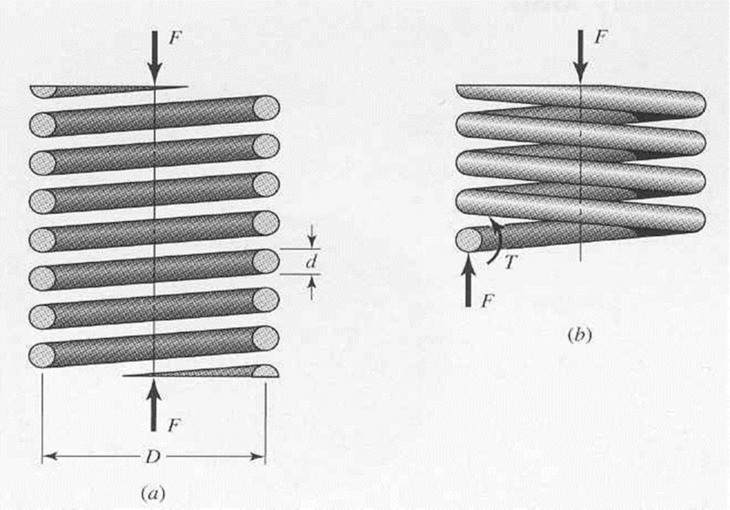
기하학적 제약

$$D + d \leq D_0$$

$$d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$$

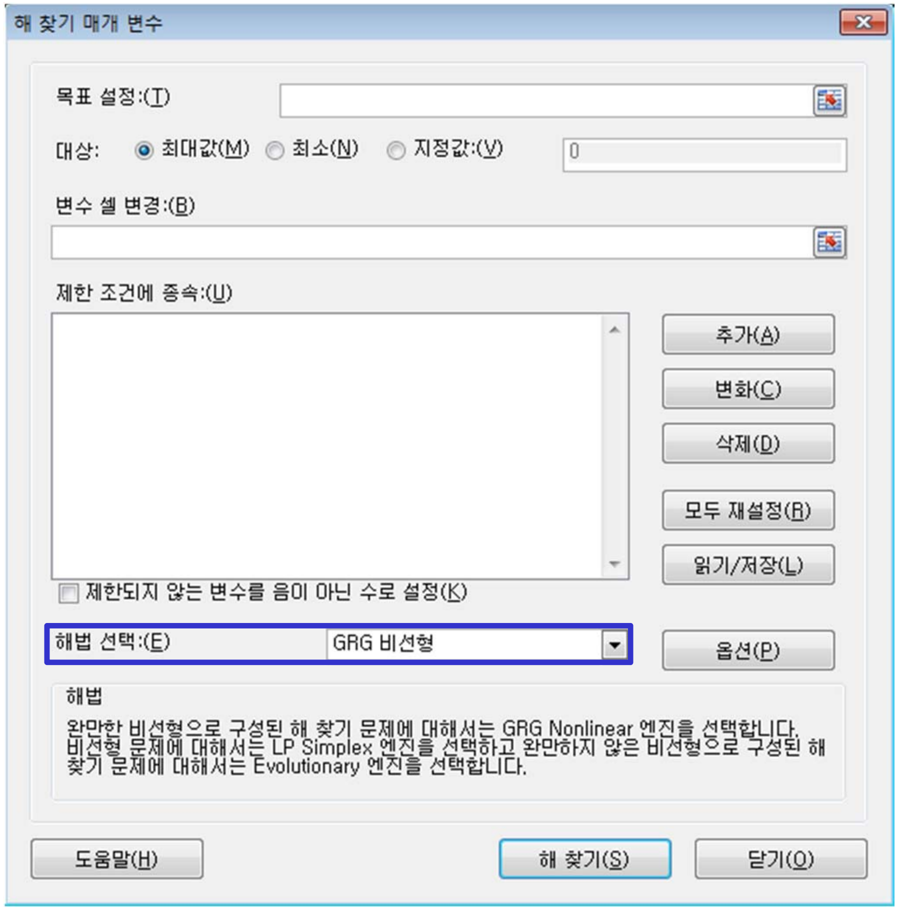
$$D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$$

$$N_{\min} \leq N \leq N_{\max}$$



최적설계문제 해법: Excel

- Excel(2010)의 해 찾기 기능 (위치: 데이터>해 찾기)



GRG 비선형	Generalized Reduced Gradient (GRG2) code
단순 LP	Simplex and Dual simplex method
Evolutionary	Genetic algorithm and Local search methods

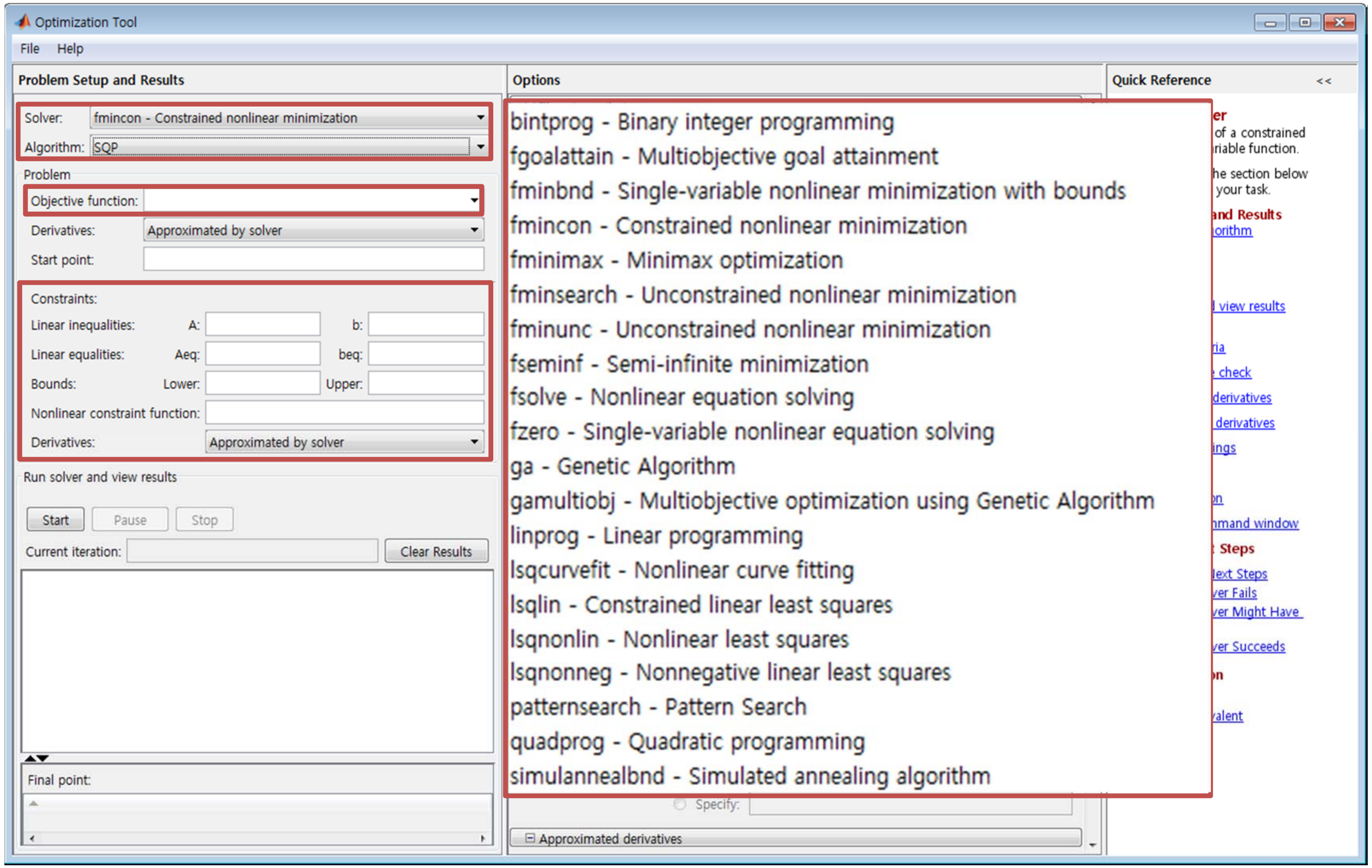
최적설계문제 해법: MATLAB

- Optimization / Global Optimizaton Toolbox (MATLAB 2012a)

솔버/
알고리즘

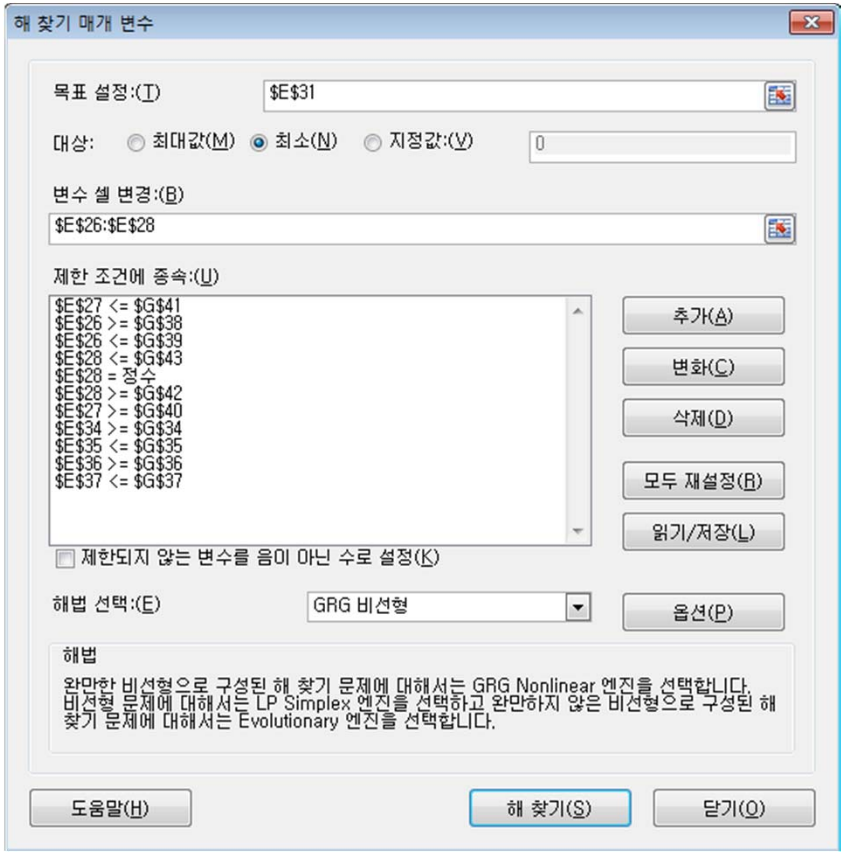
목적함수

구속조건



최적설계문제 해법 예: 압축코일스프링

	A	B	C	D	E	F	G
25	design variables:		initial		optimal		
26	wire diameter	d	0.10	in	0.05		
27	mean coil diameter	D	0.70	in	0.36		
28	number of active coils	N	7		11		
29							
30	objective function:						
31	mass	m	1.15E-04	lb	2.31E-05		
32							
33	constraints:					type	limit
34	deflection along the axis of the spring	δ	0.17	in	0.50	>=	0.5
35	shear stress	τ	21620	lb/in²	80000	<=	80000
36	frequency of surge waves	f	409.5	Hz	505.8	>=	100
37	limit on outer diameter of the coil	D_0	0.80	in	0.41	<=	1.5
38	wire diameter	d	0.10	in	0.05	>=	0.05
39	wire diameter	d	0.10	in	0.05	<=	0.2
40	mean coil diameter	D	0.70	in	0.36	>=	0.25
41	mean coil diameter	D	0.70	in	0.36	<=	1.3
42	number of active coils	N	7	integer	11	>=	2
43	number of active coils	N	7	integer	11	<=	15



정리: 최적설계

- **개발주기 단축 및 개발비용 절감: CAD 주도 설계 → CAE 주도 설계**
- **CAE 주도 설계 : 최적설계 가 필수 (설계 의사결정)**
- **최적설계**
  - 경험/직관에 의존하지 않고 해석적 최적값 도출
  - 설계프로세스를 체계적으로 정의/관리 (반복된 설계에 유리)

문제 정식화

- 설계변수
- 목적함수
- 제약조건

→

- 자동화가 안 되는 부분: 설계자가 어렵게 생각
- 설계 현장에서 적극적 도입이 안 되는 이유
- 해결책? 훈련 + 경험 (엔지니어의 가치)

문제 해법

- 경사도기반 알고리즘
  - ✓ 초기값, 방향, 거리
- 비경사도기반 알고리즘

→

- 자동화 가능
- 설계자가 사용하기 편한 도구 개발