

내솥의 최적설계



팀명 : V.S.Tech
2003007516 이민상
2003008188 이창훈

내솜의 최적설계(1)

◆ Step 1: Problem Statement

- 용량 5ℓ(10인분)인 내솜 설계에 있어서 안전도를 유지하며 필요한 재료의 비용을 최소화하는 것을 목표로 한다.

단, 내솜의 기본 규격 r , h 는 표면적이 최소가 되도록 하며, 스테인리스와 알루미늄의 이중구조로 설계한다. 또한 15분안에 조리가 완료되는 성능을 가져야한다.

내솜의 최적설계(2)

◇ Step 2 : Data and Information

$$V = 5000 \text{ cm}^3$$

r = 반지름

h = 내솜 원통부분 높이

$$P = 1.55 \text{ Mpa}$$

$$T_1 = \text{가열 온도}(600^\circ\text{C})$$

$$T_2 = \text{내부 온도}(200^\circ\text{C})$$

$$1. \text{스테인리스} \Rightarrow \rho_s = 7920 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_u = 655 \text{ MPa}$$

$$k_s = 27 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{단가}_s = 2700 \text{ 원/kg}$$

$$2. \text{알루미늄} \Rightarrow \rho_A = 2707 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_u = 110 \text{ MPa}$$

$$k_A = 204 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{단가}_A = 2568 \text{ 원/kg}$$

$$3. \text{황동} \Rightarrow \rho = 8470 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_u = 320 \text{ MPa}$$

$$k = 324 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{단가} = 6000 \text{ 원/kg}$$

$$4. \text{순동} \Rightarrow \rho = 8933 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_u = 220 \text{ MPa}$$

$$k_A = 401 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{단가}_A = 2238 \text{ 원/kg}$$

$$5. \text{금} \Rightarrow \rho = 19300 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma_u = 120 \text{ MPa}$$

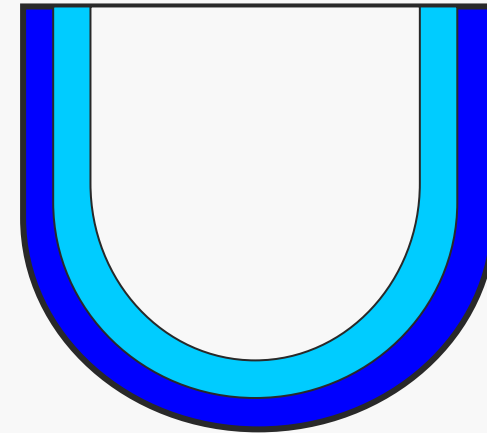
$$k = 512 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{단가} = 400000 \text{ 원/kg}$$

$$\sigma_{allow} = \frac{\text{Pr}}{t}, \quad FS(\text{안전계수}) = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{allow}} = 3$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{th}} (= \frac{Q}{\text{time}})$$

$$(R_{th})_{cyl} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi kL}, \quad (R_{th})_{plane} = \frac{L}{kA}$$



내솜의 최적설계(3)

$$\sigma_{allow} = \frac{Pr}{t} \quad , \quad FS(\text{안전계수}) = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{allow}} = 3$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{th}} (= \frac{Q}{time})$$

$$(R_{th})_{cyl} = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi kL} \quad , \quad (R_{th})_{plane} = \frac{L}{kA}$$

최소 면적 구하기

$$\text{Minimize } f(r, h) = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

$$\text{Constraints : } V = \pi r^2 h + \frac{2}{3}\pi r^3$$

$$1.3r > h$$

내솜의 최적설계(4)

- Step 3 : Definition of design variables

$t_s = \text{thickness of Stainless}$

$t_A = \text{thickness of Aluminum}$

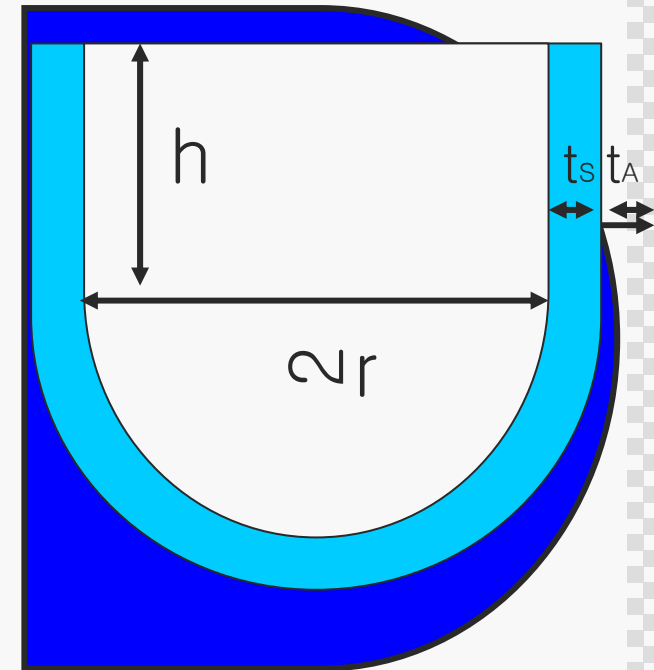
- Step 4 : Identification of Criterion to Be Optimized

$$V_s = \pi(r+t_s)^2 + \frac{2}{3}\pi(r+t_s)^3 - (\pi r^2 + \frac{2}{3}\pi r^3)$$

$$V_a = \pi(r+t_s+t_a)^2 + \frac{2}{3}\pi(r+t_s+t_a)^3 - \left[\pi(r+t_s)^2 + \frac{2}{3}\pi(r+t_s)^3 \right]$$

$$V_b = \pi(r+t_s+t_a+t_b)^2 + \frac{2}{3}\pi(r+t_s+t_a+t_b)^3 - \left[\pi(r+t_s+t_a)^2 + \frac{2}{3}\pi(r+t_s+t_a)^3 \right]$$

$$\begin{aligned} f(t_s, t_a) &= \rho_a V_a \times \text{단가}_a / \text{kg} + \rho_s V_s \times \text{단가}_s / \text{kg} \\ &= 6.95158 \times 10^6 V_a + 2.1384 \times 10^7 V_s \end{aligned}$$



내솜의 최적설계(5)

◆ Step 5 : Identification of constraints

$$(1) g_1 : t_a + t_s + t_b > t_{cr}$$

$$F.S = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{allow}} = 3, \quad \frac{pr}{t} = \frac{\sigma_{ultimate}}{3}, \quad \sigma_{ultimate} = \sigma_{allow} = 110 \text{ Mpa}$$

$$\therefore g_1 : t_a + t_s + t_b \geq \frac{3pr}{\sigma_u}, \quad h_1 : t_s = \frac{110 \times t_a}{650}, \quad h_2 : t_b = \frac{110 \times t_a}{320}$$

$$(2) g_2 : \dot{Q}_{cyl} + \dot{Q}_{plate} \geq \dot{Q}$$

$$\dot{Q}_{cyl} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{total\ cylinder}} \quad R_{total\ cylinder} = \frac{\ln\left(\frac{r+t_s}{r}\right)}{2\pi k_a h} + \frac{\ln\left(\frac{r+t_a}{r+t_s}\right)}{2\pi k_s h} + \frac{\ln\left(\frac{r+t_s+t_a+t_b}{r+t_s+t_a}\right)}{2\pi k_b h}$$

$$\dot{Q}_{plate} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{total\ plate}} \quad R_{total\ plate} = \frac{t_s}{k_s A} + \frac{t_a}{k_a A} + \frac{t_b}{k_b A} \quad (\text{단 } A = 2\pi (r + t_s + t_a + t_b)^2)$$

설계 형상 및 시스템 선택의 경제적 검증

<내솜의 형상: 원통형+반구형 밀면>

평평한 밀면에 비해 겉넓이는 증가→단순재료측면
가격상승

가마솜 벤치마킹 한 제품으로써 품질 향상을 위한
반구형상 채택

설계 형상 및 시스템 선택의 경제적 검증

<가열 시스템: IH가열 방식>

보통의 밀면 가열방식에 비해 123.38% 열전달 증가 효과

→밥 짓는 시간 단축 및 정량화 되지는 않았지만
밥맛에도 긍정적인 효과

최적 설계 결과

<설계 모델: 2중 구조→3중 구조>

- 스테인리스, 알루미늄의 기본 2중 구조에 황동, 금, 순동을 각각 추가하며 3가지 설계 비교

<알고리즘>

- Conjugate Method (Excel Solver)
- Sequantial Quadratic Programming (Matlab FMINCON)

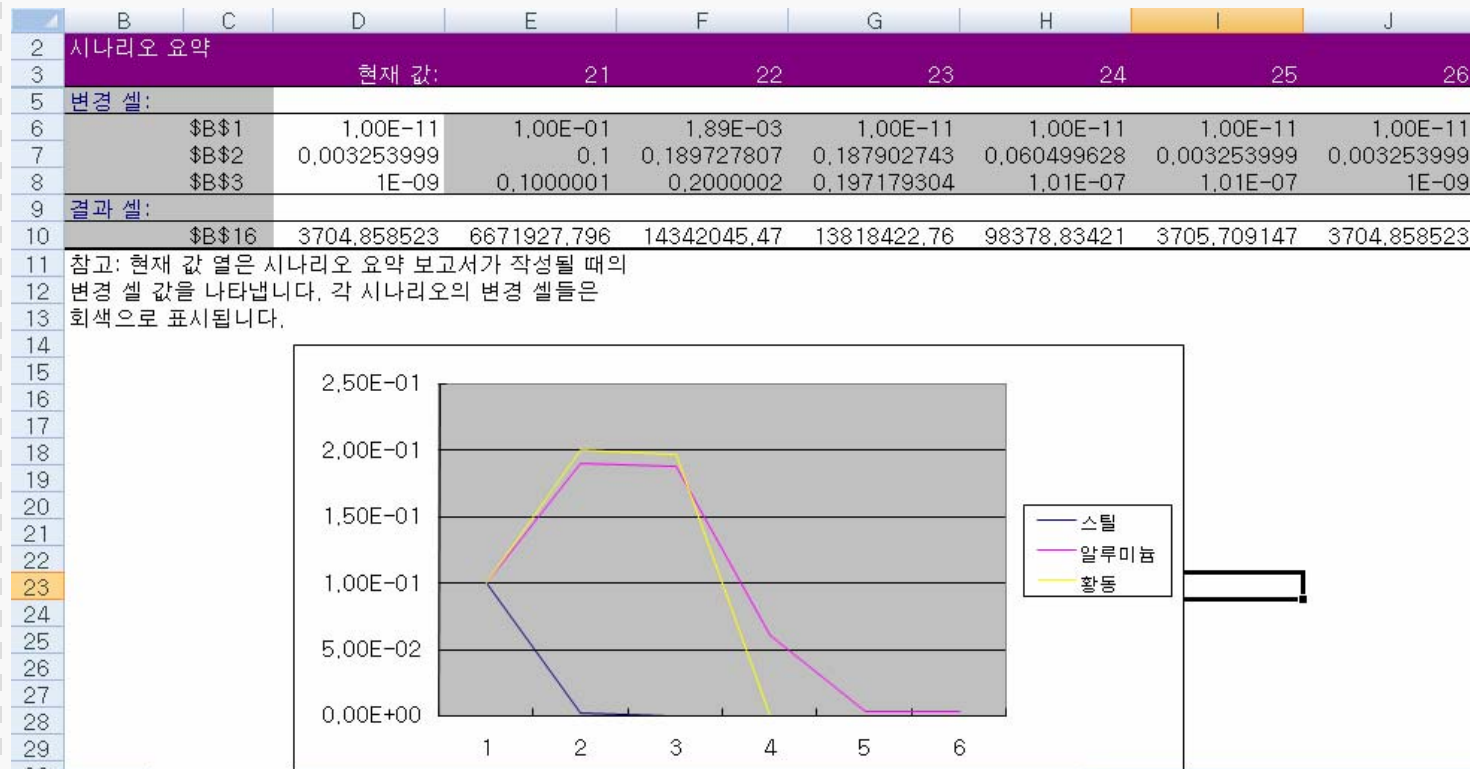
최적 설계 결과(Conjugate Method)

(1)Conjugate Method (Excel Solver)

*한번에 해를 찾아가지 못함

-equality 구속조건 제거 후 찾은 최적 값을 초기값으로 사용

1.활동 을 추가한 경우

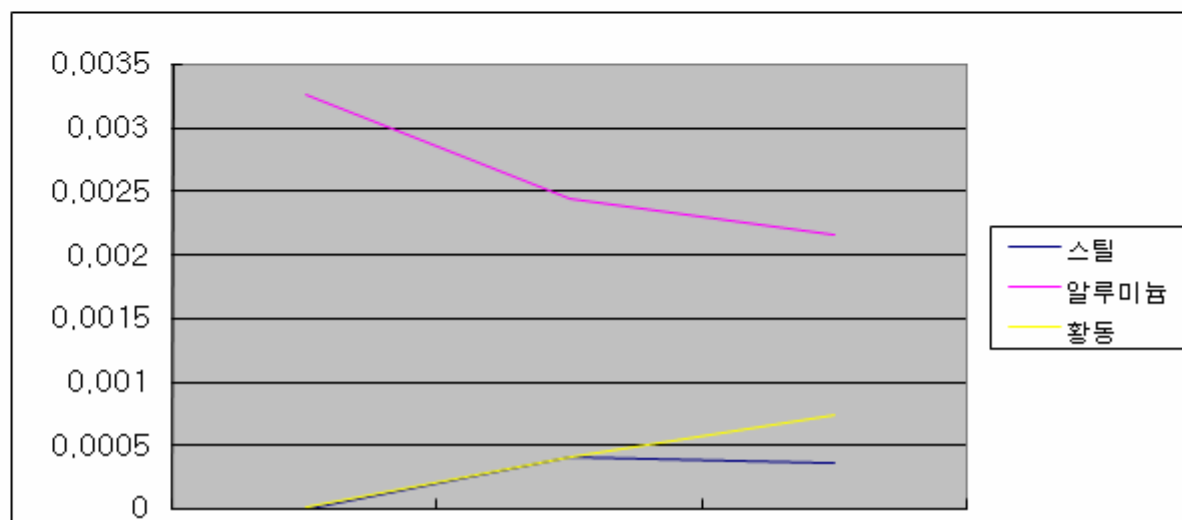


최적 설계 결과(Conjugate Method)

(1.활동 을 추가한 경우)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2		시나리오 요약							
3		현재 값: 1 2 3							
5		변경 셀:							
6		\$B\$1	0,000361387	1E-11	0,000409074	0,000361387			
7		\$B\$2	0,002151898	0,003253999	0,002435851	0,002151898			
8		\$B\$3	0,000740715	0,000000101	0,000409175	0,000740715			
9		결과 셀:							
10		\$B\$16	9954,617959	3705,709147	7649,755409	9954,617959			

참고: 현재 값 열은 시나리오 요약 보고서가 작성될 때의
변경 셀 값을 나타냅니다. 각 시나리오의 변경 셀들은
회색으로 표시됩니다.



최적 설계 결과(Conjugate Method)

2. 순동을 추가한 경우

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2		시나리오 요약							
3		현재 값:			1	2	3	4	5
5		변경 셀:							
6		\$B\$1	1,00E-08	7,25E-03	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08
7		\$B\$2	0,00325398	0,00725	0,004354707	0,004338884	0,00325398	0,00325398	0,00325398
8		\$B\$3	1,00E-08	7,25E-03	4,56E-05	1,10E-07	1,10E-07	1,10E-07	1,00E-08
9		결과 셀:							
10		\$B\$16	3704,896103	64648,64561	5149,731814	4976,6961	3705,230695	3704,896103	

참고: 현재 값 열은 시나리오 요약 보고서가 작성될 때의

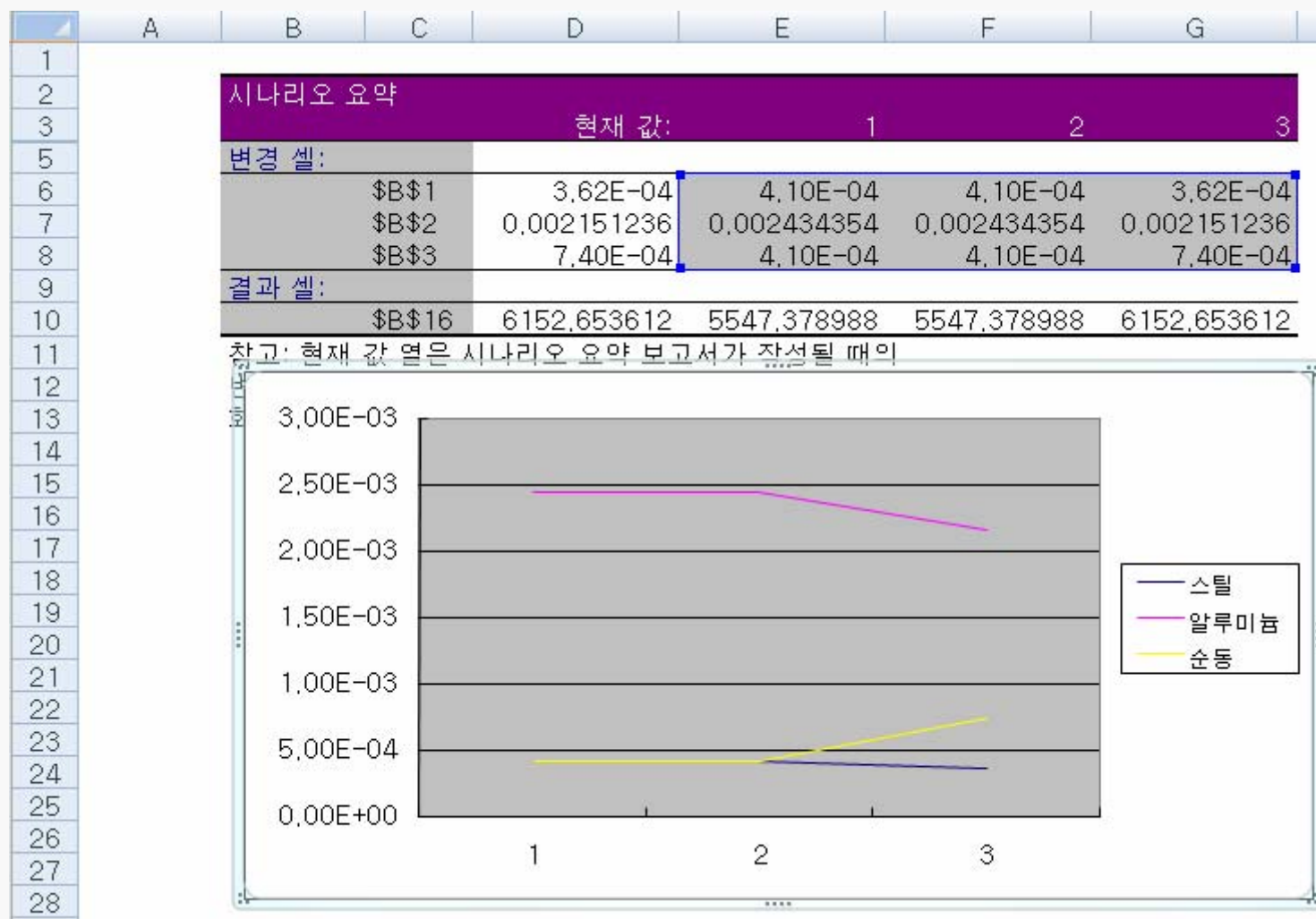
변경 셀 값을 나타내며, 가변 셀의 변경 세트인 ...

회색으로 표시



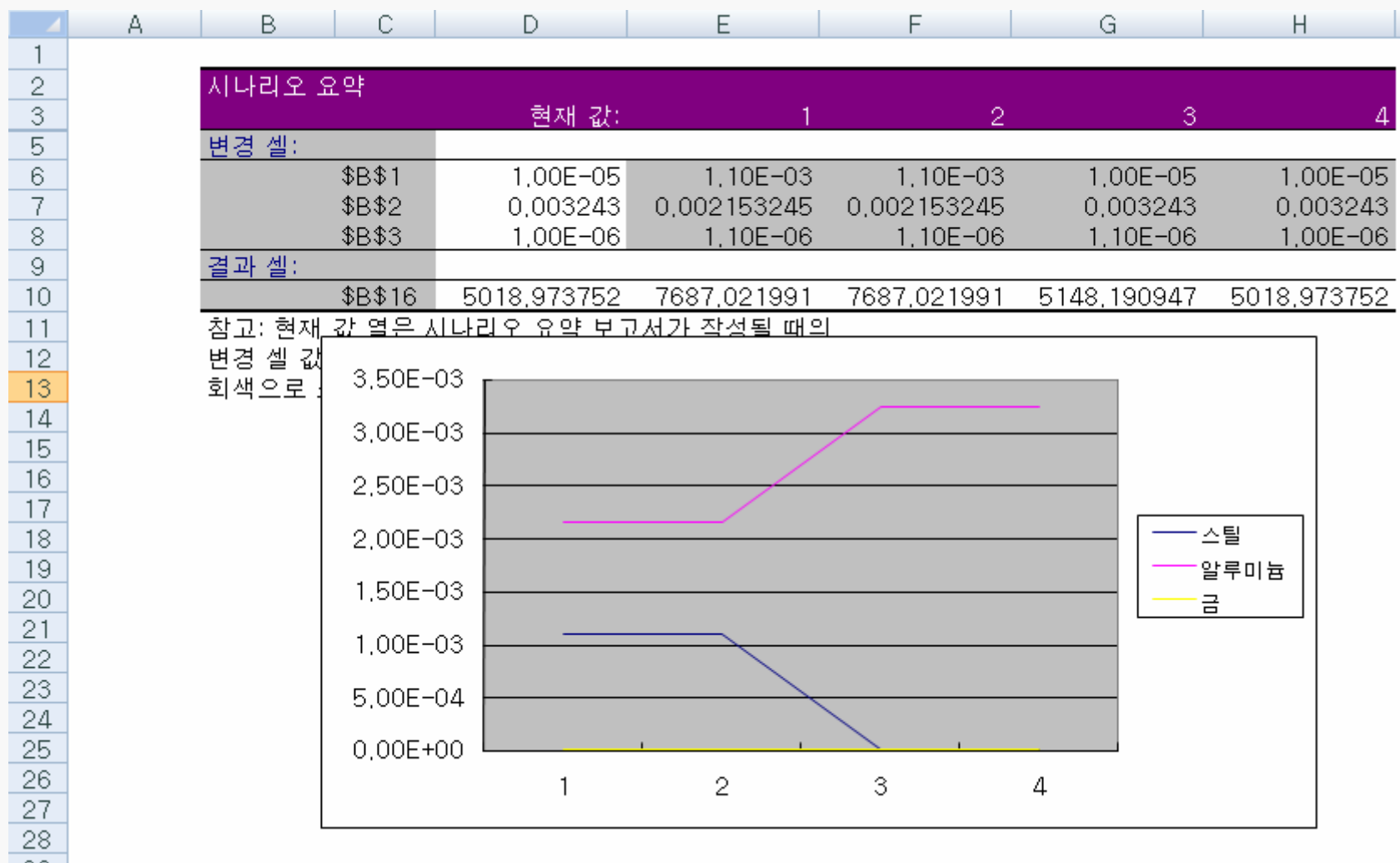
최적 설계 결과(Conjugate Method)

(2. 순동을 추가한 경우)



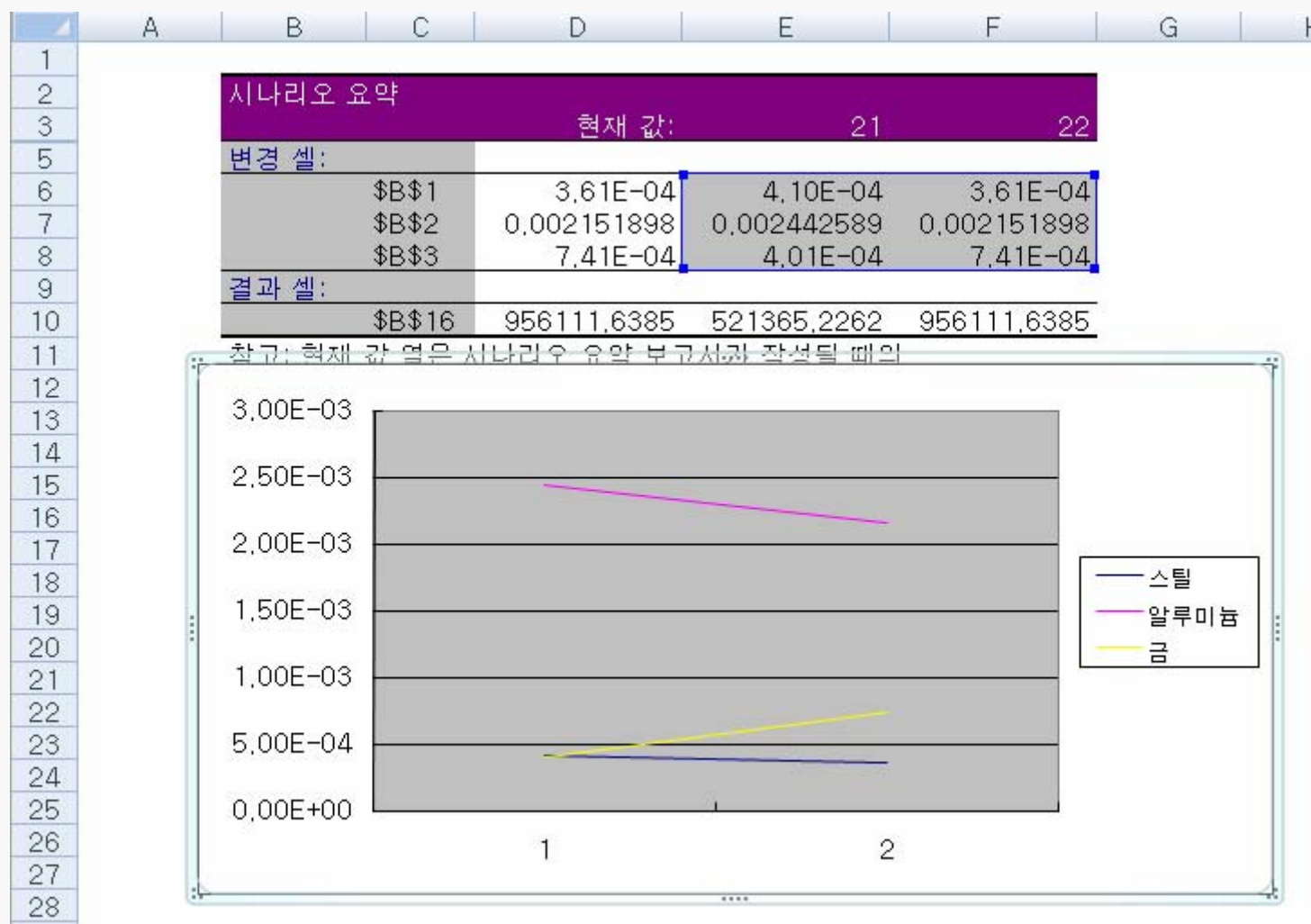
최적 설계 결과(Conjugate Method)

3. 금을 추가한 경우



최적 설계 결과(Conjugate Method)

(3. 금을 추가한 경우)



최적 설계 결과(SQP)

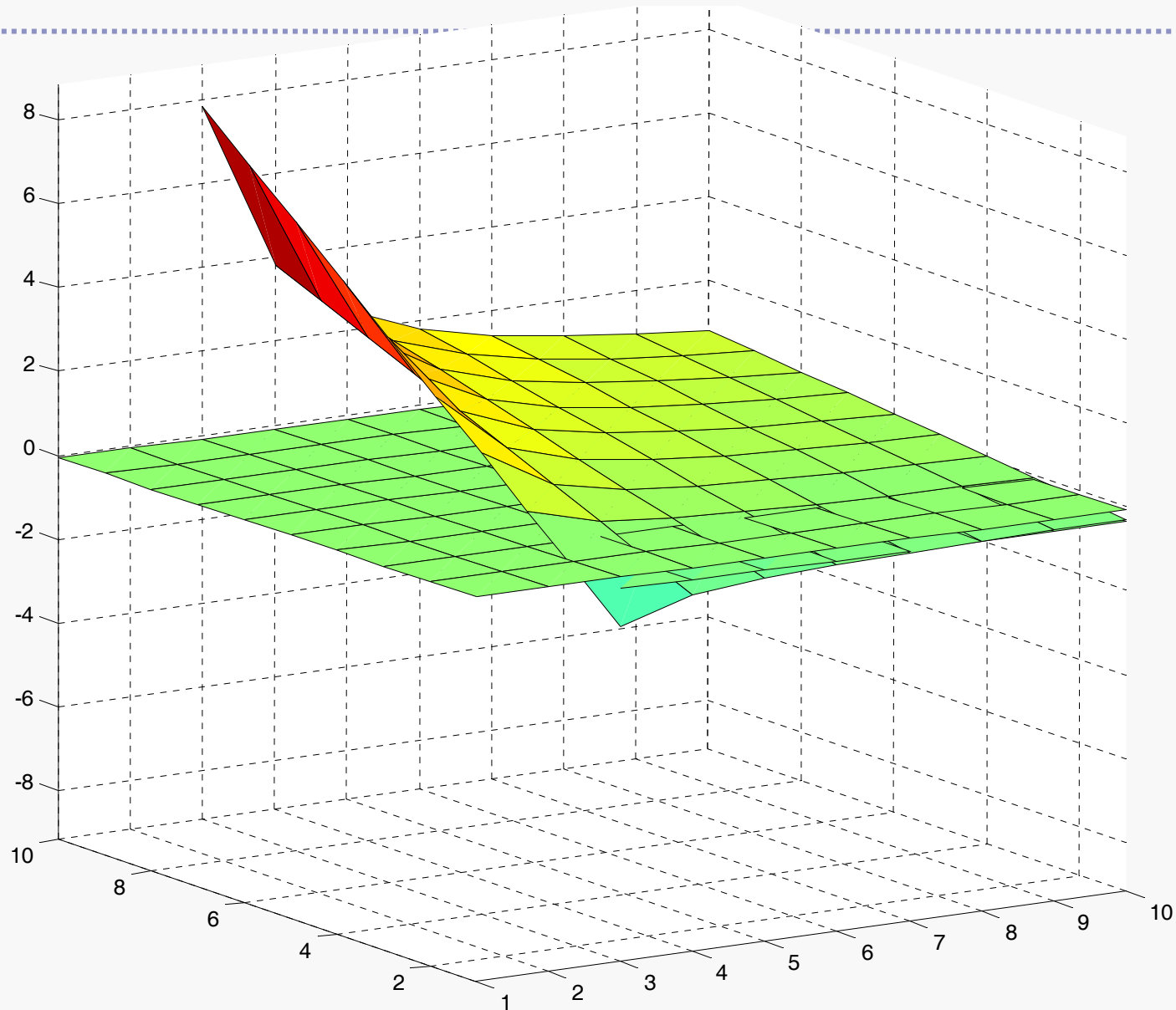
(2) Sequential Quadratic Programming(Matlab FMINCON)

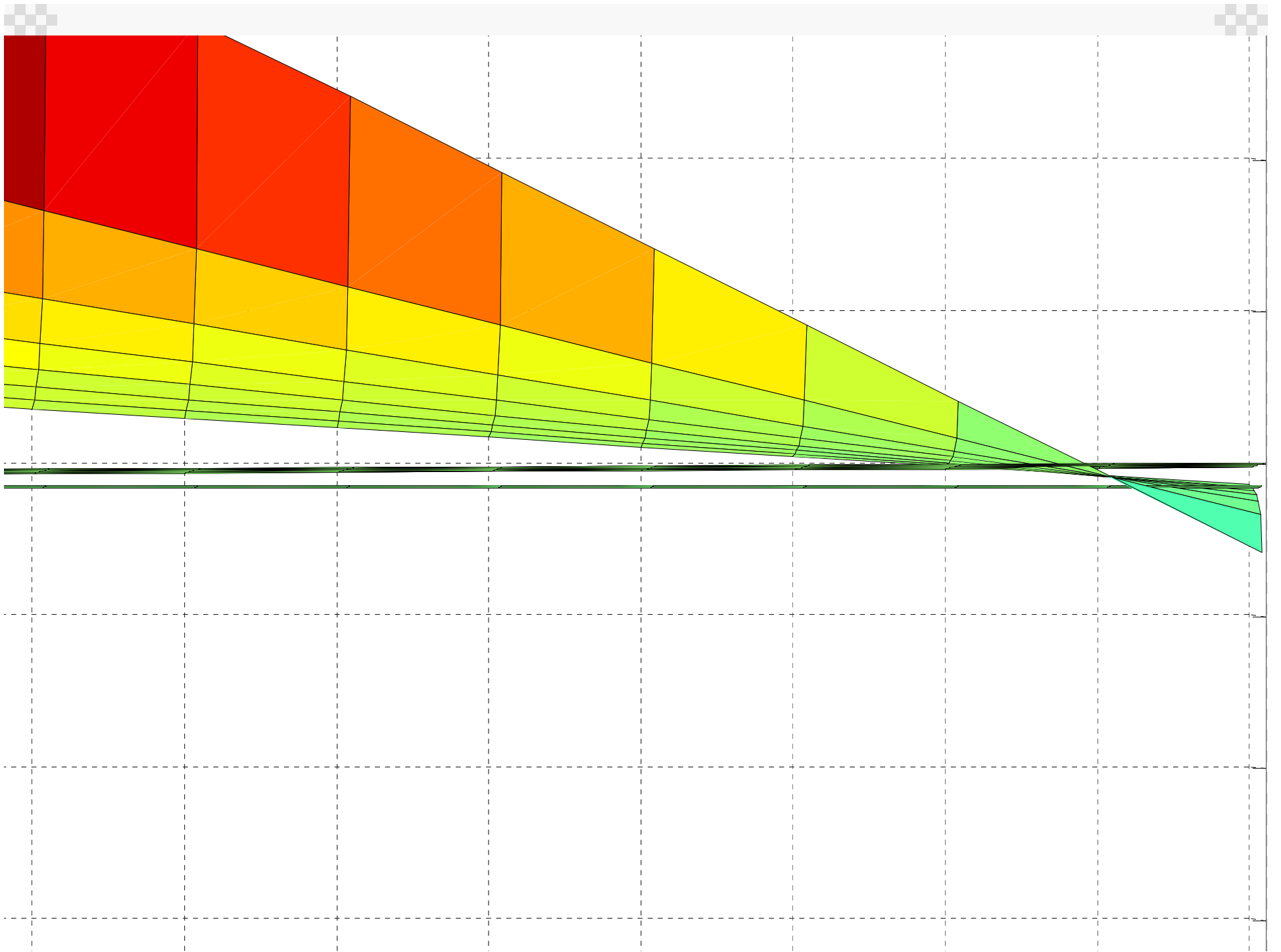
- X(3)의 최적해(0.0007m)를 고정 값으로 정하고 나머지 2개 변수에 대한 구속조건의 3차원 그래프 구함
- 2개의 Equality 구속조건 그래프의 교점이 최적점이며, 나머지 두2개의 inequality 구속조건을 만족

최적 설계 결과(SQP)

- ◇ $X0 = [0.05 \ 0.05 \ 0.05];$
- ◇ $A = []; B = [];$
- ◇ $Aeq = []; Beq = [];$
- ◇ $LB = [0 \ 0 \ 0];$
- ◇ $UB = [0.1 \ 0.1 \ 0.1];$
- ◇ $X = \text{FMINCON}('lch', X0, A, B, Aeq, Beq, LB, UB, 'conlch')$
- ◇ $f =$
- ◇ $9.9494e+003$
- ◇ $X =$
- ◇ $0.0004 \quad 0.0022 \quad 0.0007 \quad (\text{황동을 추가한 경우})$

최적 설계 결과 (Graphical)





결론

*내솜의 가격이 재료가공과 제작에 의해 많이 올라
가므로 재료만의 비용으로 단순비교는 불가
-제품의 재료에 대한 성능과 경제성을 비교

- 순동 내솜 : 6152원
- 황동 내솜 : 9954원

황동 내솜의 가격이 순동내솜에 비해 약 50% 상승

결론

-재료의 강도와 열전도만을 고려할 경우

→순동 내솔이 기능을 크게 떨어뜨리지 않으며
최저비용 형성

금을 사용한 경우 너무 높은 비용 형성

→내부 재료로 부적합

따라서 금은 내솔의 외부에 코팅의 용도로 사용

Question?



감사합니다.