

Optimum design of the wiper crank arm for motor vehicles

**WHY NOT?
WE'LL TRY~!**

2003006171 오경한

2003007442 성규석



Contents



- ▶ **Introduction**
- ▶ **Problem Statement**
- ▶ **Geometry analysis**
- ▶ **Objective function & Constraints**
- ▶ **Graphical Optimization**
- ▶ **Conclusion**
- ▶ **Comments**

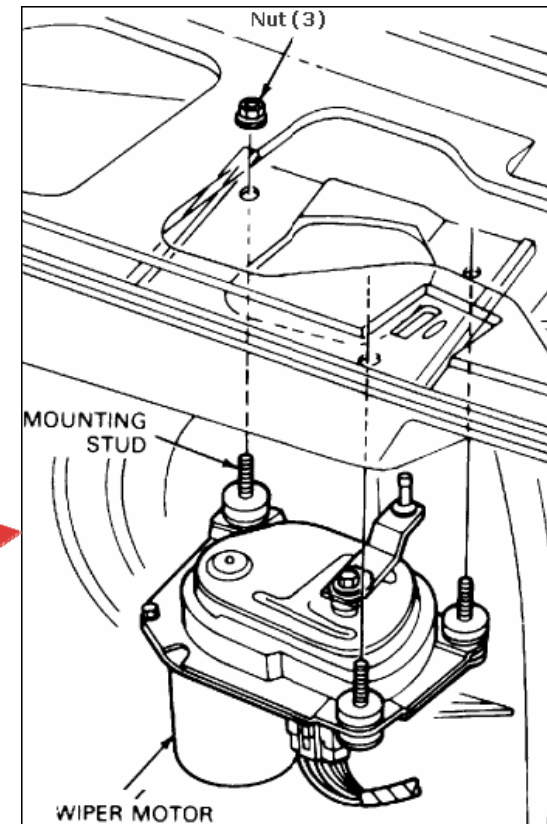
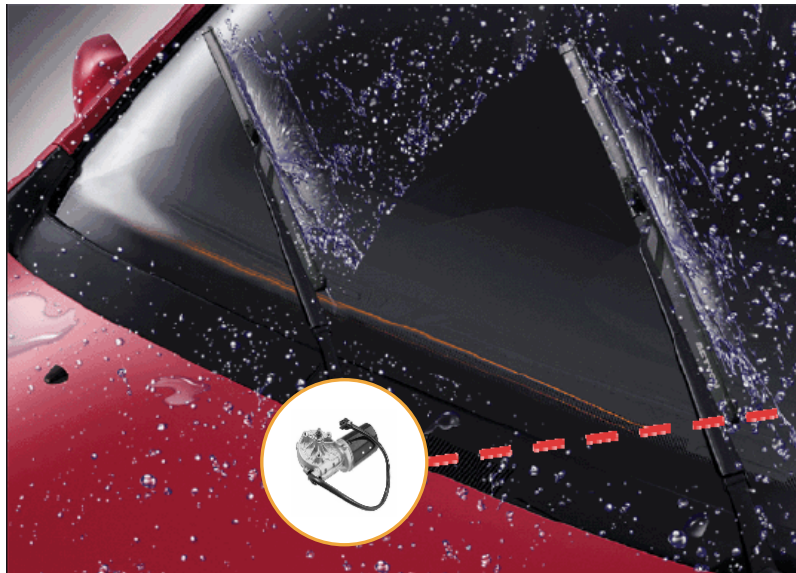




Introduction

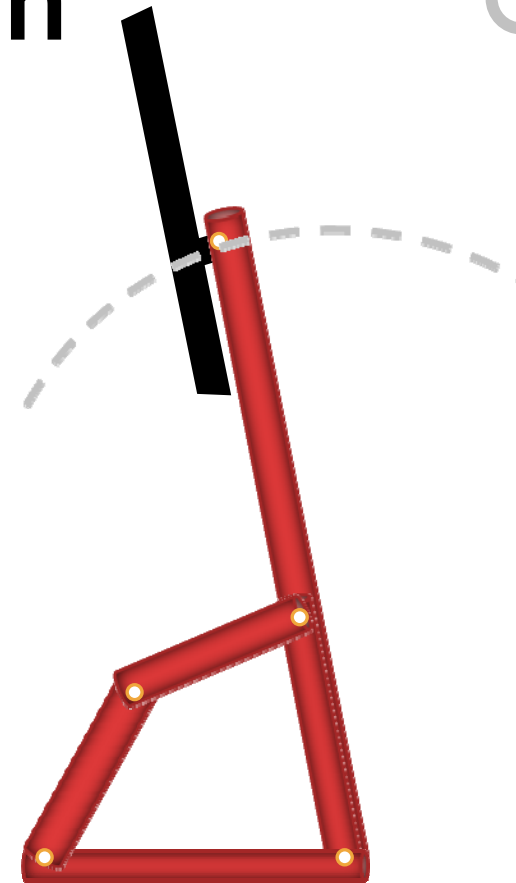
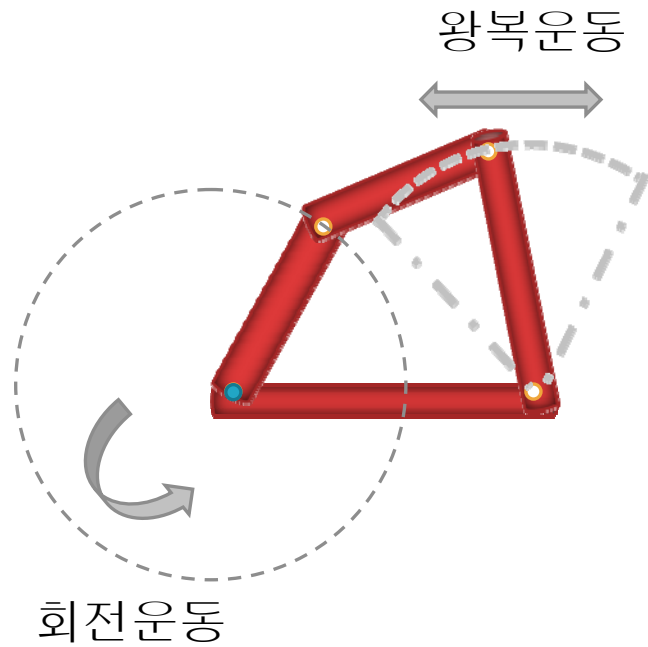


WINDSHIELD WIPER





Introduction





Problem Statement

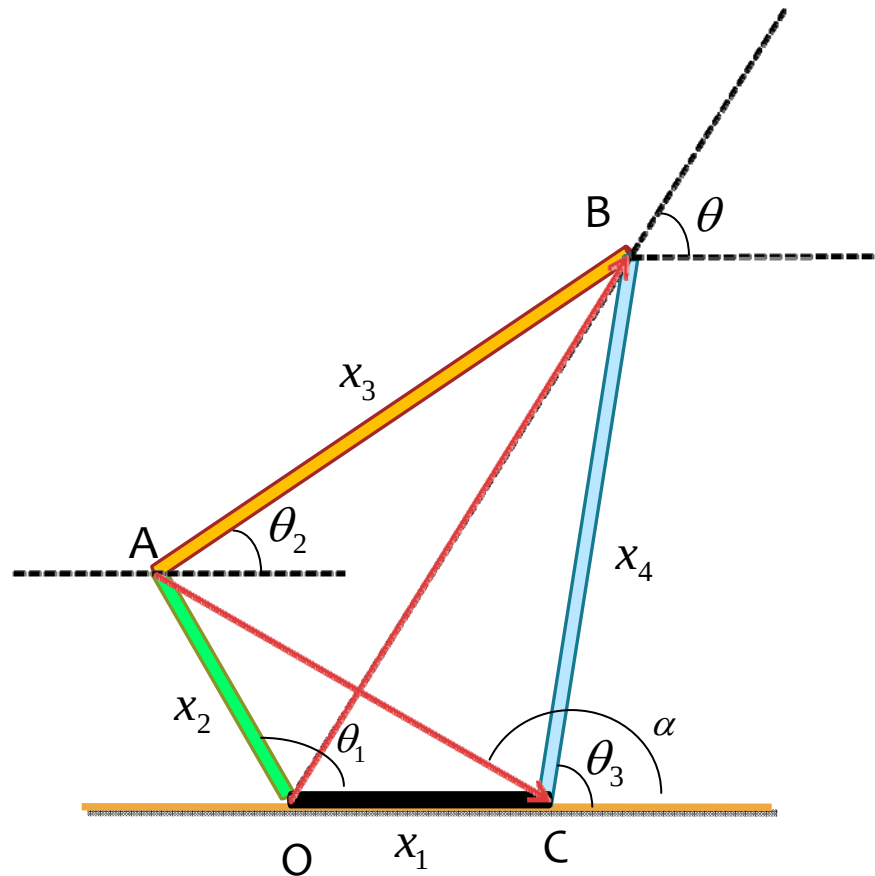


- ▶ 최근 일부 자동차에서는 구동모터를 제어 함으로써 Wiper Arm의 궤적을 조절.
- ▶ Controller가 Open Loop일 경우 Disturbance에 의한 영향으로 제어가 제대로 되지 않을 시에는 운전자의 시야 확보에 장애를 가져다 주어 안전운행에 위협을 가할 수 있고, Closed Loop인 경우 Wiper의 궤적과 속도를 측정하는 Sensor를 장착하여야 하므로 Link에 의한 설계에 비해 많은 비용이 소모된다.
- ▶ 따라서, 경제적인 측면과 성능적인 측면을 고려하여 회전운동을 반복 운동으로 바꾸는데 필요한 최소한의 Link인 4-Link를 사용하여, Wiper가 많은 면적을 닦을 수 있도록 **Wiper 궤적이 최대**가 되게 4-Link를 설계한다.





Geometry Analysis



- 벡터의 극 좌표 변환

$$\overrightarrow{OA} = x_2 e^{j\theta_1}$$

$$\overrightarrow{AB} = x_3 e^{j\theta_2}$$

$$\overrightarrow{OC} = x_1 e^{j\theta_3}$$

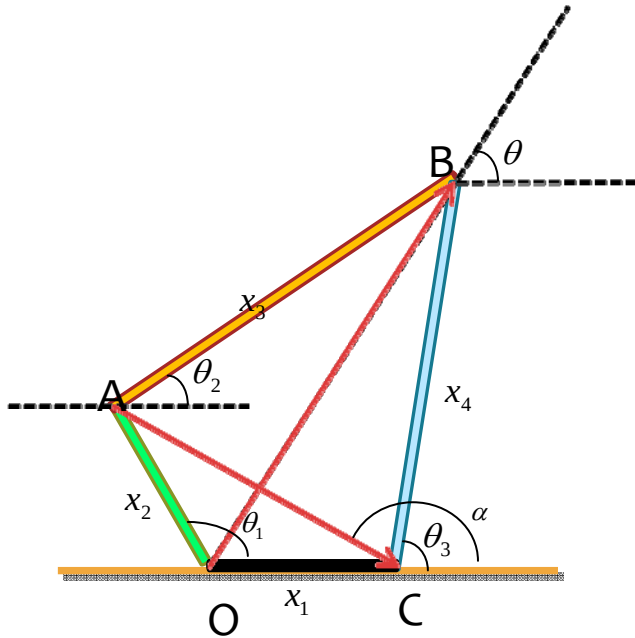
$$\overrightarrow{CB} = x_4 e^{j\theta_4}$$

- 루프 폐쇄 공식

$$\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{OC} + \overrightarrow{CB}$$

$$\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} = \overrightarrow{OB}$$

Analysis & Modeling



$$\textcircled{1} \quad \overrightarrow{OC} - \overrightarrow{OA} = x_1 e^{j0} - x_2 e^{j\theta_1} = \overrightarrow{AC}$$

$$|\overrightarrow{AC}| = \sqrt{(x_1 - x_2 \cos \theta_1)^2 + x_2^2 \sin^2 \theta_1} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 - 2x_1 x_2 \cos \theta_1}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{-x_2 \sin \theta_1}{x_1 - x_2 \cos \theta_1} \right)$$

$$\textcircled{2} \quad \overrightarrow{AB} - \overrightarrow{CB} = \overrightarrow{AC}$$

$$= x_3 e^{j\theta_2} - x_4 e^{j\theta_3} = |\overrightarrow{AC}| e^{j(\alpha)}$$

$$|\overrightarrow{AC}| = x_3 e^{j(\theta_2 - \alpha)} - x_4 e^{j(\theta_3 - \alpha)}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} |\overrightarrow{AC}| = x_3 \cos(\theta_2 - \alpha) - x_4 \cos(\theta_3 - \alpha) \\ 0 = x_3 \sin(\theta_2 - \alpha) - x_4 \sin(\theta_3 - \alpha) \end{cases}$$

$$\text{i) } x_3 \cos(\theta_2 - \alpha) = x_4 \cos(\theta_3 - \alpha) + |\overrightarrow{AC}|$$

$$x_3 \sin(\theta_2 - \alpha) = x_4 \sin(\theta_3 - \alpha)$$

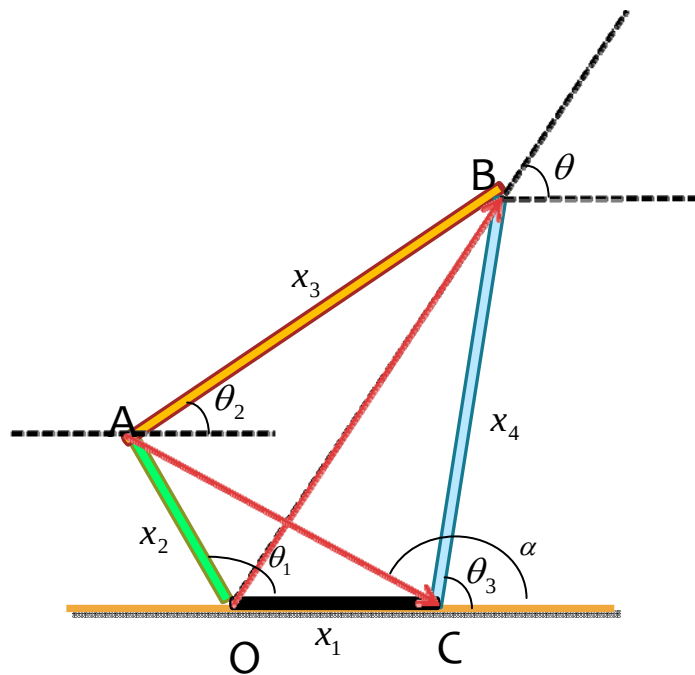
$$\rightarrow \theta_3 = \mp \cos^{-1} \left(\frac{x_3^2 - x_4^2 - |\overrightarrow{AC}|^2}{2x_4 |\overrightarrow{AC}|} \right) + \alpha$$

$$\text{ii) } x_4 \cos(\theta_3 - \alpha) = x_3 \cos(\theta_2 - \alpha) - |\overrightarrow{AC}|$$

$$x_4 \sin(\theta_3 - \alpha) = x_3 \sin(\theta_2 - \alpha)$$

$$\rightarrow \theta_2 = \pm \cos^{-1} \left(\frac{x_3^2 - x_4^2 + |\overrightarrow{AC}|^2}{2x_3 |\overrightarrow{AC}|} \right) + \alpha$$

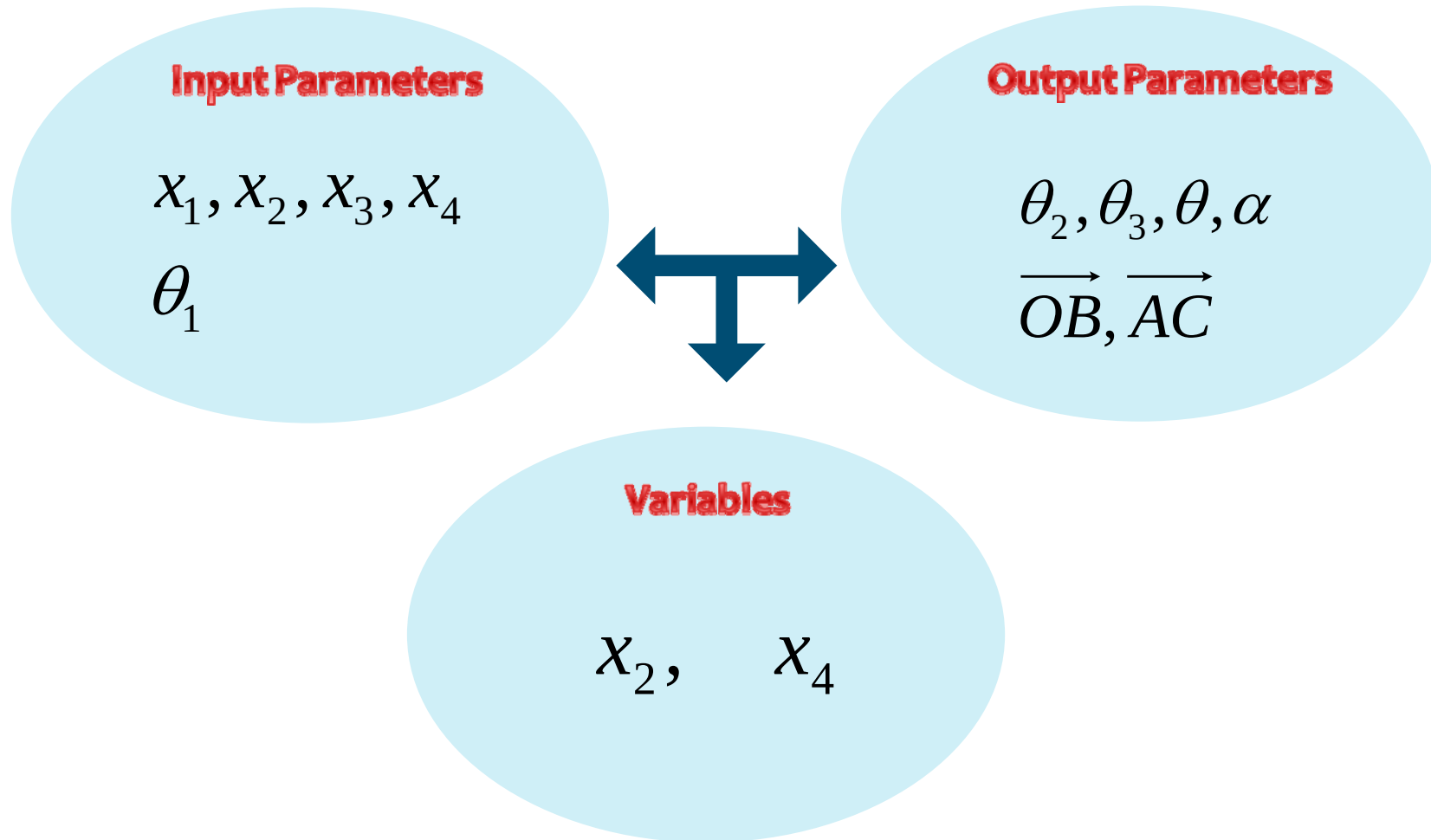
Geometry Analysis



$$\begin{aligned}
 \textcircled{3} \quad \overrightarrow{OB} &= \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} = x_2 e^{j\theta_1} + x_3 e^{j\theta_2} \\
 |\overrightarrow{OB}| &= \sqrt{x_2^2 + x_3^2 + 2x_2x_3 \cos(\theta_1 - \theta_2)} \\
 &= \sqrt{x_1^2 + x_4^2 + 2x_1x_4 \cos \theta_3} \\
 \theta &= \arctan \left(\frac{x_2 \sin \theta_1 + x_3 \sin \theta_2}{x_2 \cos \theta_1 + x_3 \sin \theta_2} \right)
 \end{aligned}$$



Parameters & Variables



Objective function & Constraints

➤ Objective function

$$F(x_2, x_4) = -|\max(\theta_3) - \min(\theta_3)|$$

- Minimizing wiper angle

➤ Constraints

$$x_2 + x_3 - x_1 - x_4 \leq 0$$

$$x_3 + x_4 - 2x_1 - 2x_2 \leq 0$$

$$70 \geq x_4 \geq 10$$

$$50 \geq x_2 \geq 10$$

$$x_3 > x_2$$

$$\theta_3 < 3\text{rad}$$

-By Grashof's Law
(링크가 회전운동을 하기 위한 조건)

-2번 링크가 180도만큼 회전 했을때,
삼각형을 이룰 조건

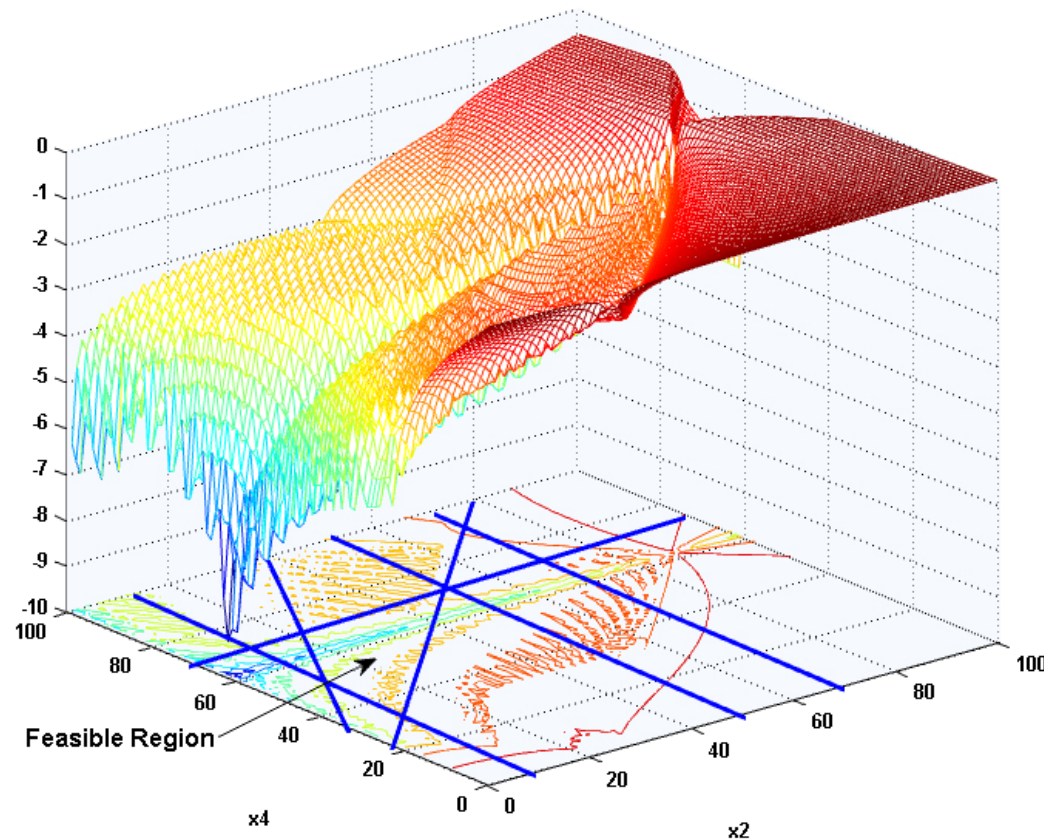
-설치 시 크기 고려

-기하학적인 제약





Graphical Optimization



MATLAB

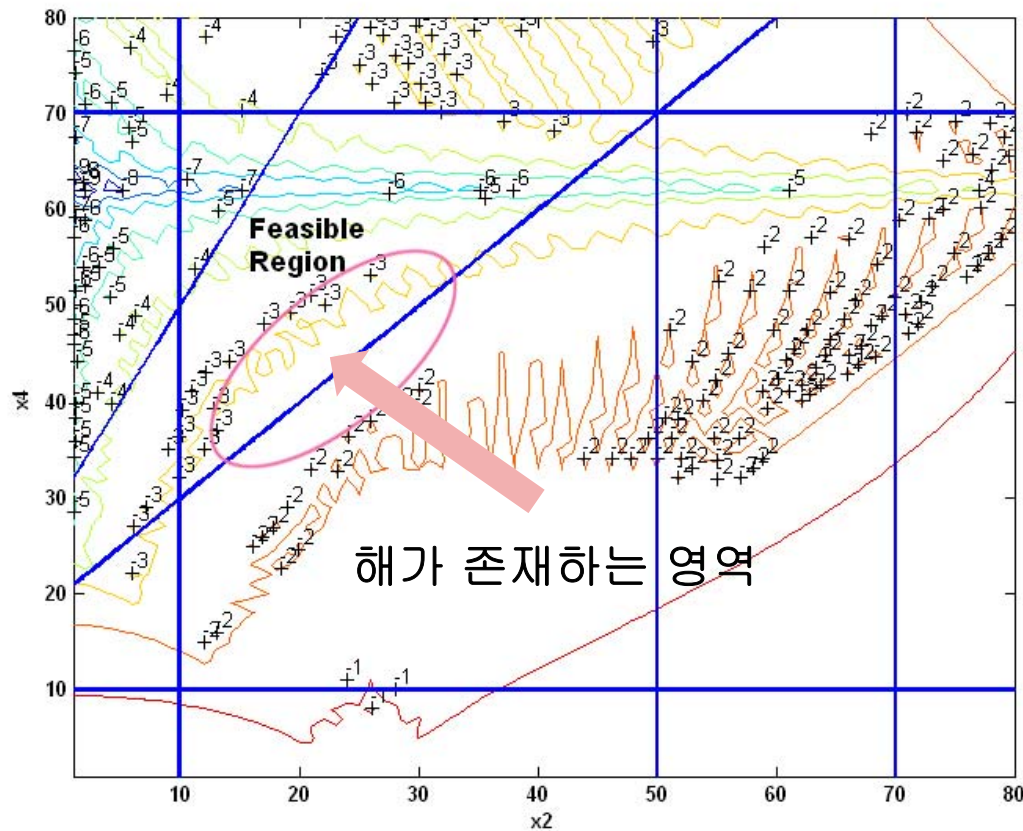
```
x1=50;
x2=linspace(1,80,100);
x3=70;
x4=linspace(1,80,100);
thetaa(length(x2):length(x4))=0;
for i=1:100
    for j=1:100
        thetaa(i,j)=maxtheta(x1,x2(i),x3,x4(j));
    end
end

axis auto
hold on

[x2,x4]=meshgrid(x2,x4);
g1=x3+x4-2*x1-2*x2;
g2=x2+x3-x1-x4;
g3=10-x2;
g4=x4-70;
g5=10-x4;
g6=x2-50;
g7=x2-x3;
```



Graphical Optimization



Objective Function code

```
function f=maxtheta(x1,x2,x3,x4)
theta1=linspace(0,2*pi,100);
AC=abs((x1^2+x2^2-2*x1*x2*cos(theta1)).^(1/2));
theta3=acos((x3^2-x4.^2-AC.^2)./(2*x4*AC));
f=-abs(max(theta3)-min(theta3));
```

도해법에 의한 최적 값

무수히 많은 최적 해가 존재한다.



Conclusion



- ✓ Feasible Region 안에 다수의 해가 존재한다.
- ✓ 최적해가 존재하는 구간은 $30 \geq x_2 \geq 10$
 $50 \geq x_3 \geq 30$ 임을 알 수 있다.
- ✓ Objective Function의 형태가 불규칙하기 때문에 이에 대한 수정이 필요할 것이다.





Comments



- ✓ 기존 설계와 비교하여 기구적인 면만을 고려하였기 때문에 실제로 사용하기 위해선 재료적인 해석이 필요할 것이다.
- ✓ 앞으로 수치 해석을 통한 최적해를 구하는 과정에서는 이런 사항들을 고려해 보는 시도가 필요할 것이다.
- ✓ 그래프의 형태가 미분을 이용하여 최대 최소를 구하기 어려운 형태임을 확인 할 수 있다. 따라서 이를 해결할 수 있는 수치해석적인 방법을 모색해야 한다.





Reference



● Theory of machines and mechanisms. / Uicker,
Pennock / 3rd ed. / p.39-88

