

사장교의 최적 설계

3 Design variables



수,목반 - 무사고 조

2002009100 홍동수

2004007810 정규선

2005006605 박섿별



목 차

- 1. 주제 선정 과정
- 2. Problem Statement
- 3. Data and Information
- 4. Design Variables
- 5. Objective Function
- 6. Constraints
- 7. Solution
- 8. Discussion



주제 선정 과정

- 1. 3변수 최적 설계에 적합한 요소 구상
- 2. 문제의 간단화: 동적인 요소 배제
곡선 요소 배제
구속 조건 필요
- 3. 결과의 타당성:
비교=> 기존 설계가 있는 요소 고려

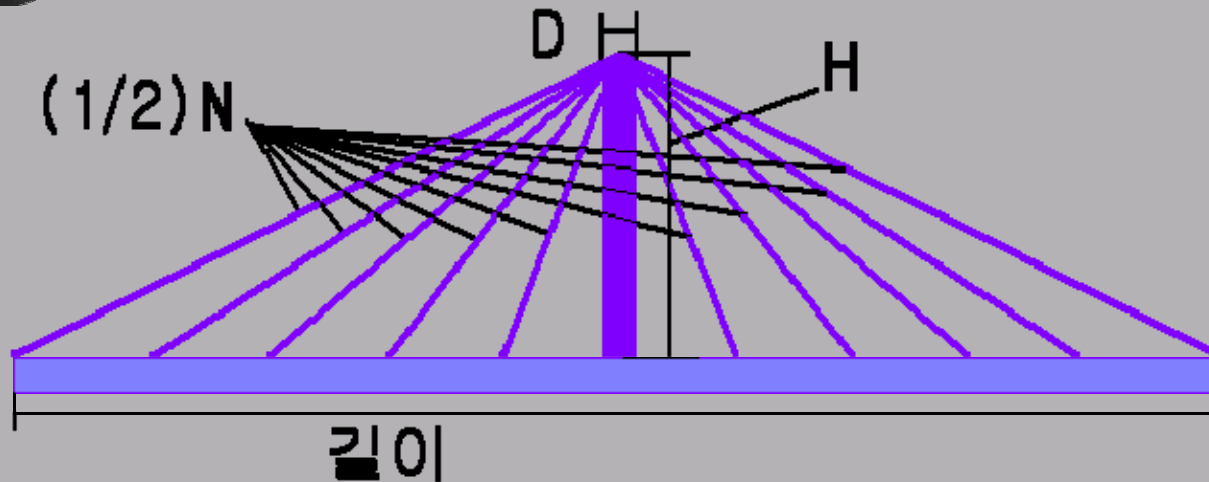


Step 1. Problem statement

- 사장교 (케이블에 의해 지탱되는 교량)
설계시 케이블과 주탑의 질량 최소화
- 주탑의 높이는 10m 이상
- 케이블의 변형은 50mm 이하
- 케이블의 지름은 25cm 이하
- 케이블의 개수는 24개 이하



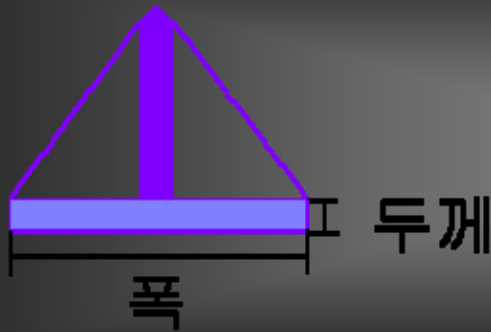
Step 2. Data and information



- I 길이: 300m
(올림픽 대교에서 사장교 구간)
- D 주탑의 지름: 2m
- g 중력: 9.81m/s^2



Step 2. Data and information



- w 폭: 30m (6차선 도로)
- t 두께: 3m
- F.S = 4
- 재료 일정: 케이블-Steel(ASTM-A36)
케이블 외의 요소-콘크리트
(Lightweight)

- $F_{max} = 49.05\text{MN}$
(길이 9m인 25t 트럭이 사장교 구간을 모두 채운 경우)
- ΣL = 케이블 N개의 총 길이
- $\sigma_a = 250\text{MPa}$ $\rho_{st} = 7850\text{kg/m}^3$ $\rho_{\text{콘크리트}} = 1400\text{kg/m}^3$
- 가정: $m_{\text{케이블}} \ll m_{\text{교량-케이블}}$



Step 2. Data and information

$$nT_y = F_{\max} + W_b$$

$$W_b = \rho_{\text{콘크리트}} lwtg$$

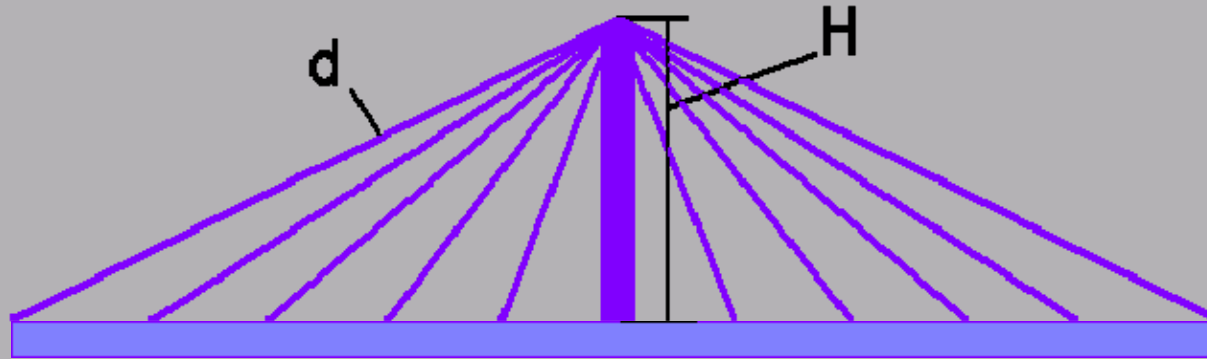
$$W_T = \rho_{\text{콘크리트}} \frac{D^2 \pi}{4} Hg$$

$$E_{st} \text{ (Young's modulus)} = 210\text{GPa}$$

$$\Delta L = \frac{\sigma L}{E} \quad P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$



Step 3. Design variables



- Variable 1 N = 케이블의 갯수
- Variable 2 d = 케이블의 지름
- Variable 3 H = 주탑의 높이



Step 4. Objective function

- 목적 함수에서 고려되어야 할 점

재료의 최소화 => 건축비 절감

$$C = \underbrace{C_o}_{\text{overhead}} + \underbrace{C_t}_{\text{tooling}} + \underbrace{C_l}_{\text{labor}} + \underbrace{C_m}_{\text{material}}$$

C_o, C_l, C_t : 고려하지 않음



Step 4. Objective function

$$f = \rho_{st} \left(\frac{d^2 \pi}{4} \right) \sum L^2 + W_T$$

= 케이블의 질량 + 주탑의 질량



Step 4. Objective function

$$f = \rho_{st} \left(\frac{d^2 \pi}{4} \right) \left[(0.31N + 0.65) H^2 + (6368.75N + 14640.625) \right] \\ + \rho_{\text{콘크리트}} \frac{D^2 \pi}{4} Hg$$

= 케이블의 질량 + 주탑의 질량



Step 5. Constraints

$$F.S\sigma = F.S \left(\frac{F_{\max} + W_b}{A} \right) / 4N \leq \sigma_a$$

$$\Delta L = \frac{\sqrt{(l/2)^2 + H^2}}{E} \cdot \frac{(F_{\max} + W_b) / 4N}{A} \leq 0.05$$

$$F_{\max} + W_b \leq \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

$$0 \leq d \leq 0.25$$

$$4N = n \leq 24$$

$$H \geq 10$$



Step 5. Constraints

$$g_1 = F.S \left(\frac{F_{\max} + \rho_{\text{콘크리트}} \left(\frac{l}{2} \right) w t g}{d^2 \pi N} \right) - \sigma_a \leq 0$$

$$g_2 = \frac{\sqrt{(l/2)^2 + H^2}}{E} \cdot \frac{\left(F_{\max} + \rho_{\text{콘크리트}} \left(\frac{l}{2} \right) w t g \right)}{d^2 \pi N} - 0.05 \leq 0$$

$$g_3 = -\frac{\pi^2 E}{(0.7)^2 H^2} \frac{\pi D^4}{64} + F_{\max} + \rho_{\text{콘크리트}} \left(\frac{l}{2} \right) w t g \leq 0$$

$$g_4 = -d \leq 0$$

$$g_5 = d - 0.25 \leq 0$$

$$g_6 = -H + 10 \leq 0$$

$$g_7 = N - 6 \leq 0$$



Solution(Excel Solver)

초기값 : $d=0.1$, $N=3$, $H=10$ (feasible region)

지름	0.1	0.228313	0.25
개수	1	6	6
높이	10	10	∞

해 찾기 결과

모든 제한 조건과 최적 조건을 만족시키는 해를 구했습니다.

☒ 구한 해로 바꾸기(K)
☐ 초기값 유지(Q)

보고서(R):

해답
 최소값
 한계값



Solution(Excel Solver)

초기값 : $d=0.05$, $N=10$, $H=5$ (infeasible region)

지름	0.1	0.228313	0.25
개수	1	6	6
높이	10	10	∞

해 찾기 결과

모든 제한 조건과 최적 조건을 만족시키는 해를 구했습니다.

☒ 구한 해로 바꾸기(K)
☐ 초기값 유지(O)

보고서(R):

해답
 미값도
 한계값



Solution(Pattern Search)

초기값 : $d=0.1$, $N=3$, $H=10$ (feasible region)

Pattern search running.

Pattern search terminated.

Objective function value: 6,046101608451005E7

Optimization terminated: mesh size less than options.TolMesh
and constraint violation is less than options.TolCon.

Final point:

1	2	3
0,22829	5,99999	10



Solution(Pattern Search)

초기값 : $d=0.05$, $N=10$, $H=5$ (infeasible region)

Options have changed,
Pattern search running.

Pattern search terminated.
Objective function value: 6,046092242857945E7
Optimization terminated: mesh size less than options.TolMesh
and constraint violation is less than options.TolCon.

Final point:

1	2	3
0,22829	6	10



Solution(Genetic Algorithm)

GA running.

GA terminated.
Fitness function value: 6,04609108011382E7
Optimization terminated: average change in the fitness value
and constraint violation is less than options.TolCon.

< III >

Final point:

1	2	3
0.22829	6	10



Solution(fmincon)

초기값 : $d=0.1$, $N=3$, $H=10$ (feasible region)

```
Optimization running.  
Optimization terminated.  
Objective function value: 6.0460923212317854E7  
Optimization terminated: magnitude of search direction less than  
and maximum constraint violation is less than options.TolCon
```

Final point:

1	2	3
0.228	6	10



Solution(fmincon)

초기값 : $d=0.05$, $N=10$, $H=5$ (infeasible

```
-----  
Optimization running.  
Optimization terminated.  
Objective function value: 6.162997260580509E7  
Optimization terminated: magnitude of search direction less than  
and maximum constraint violation is less than options.TolCon
```

Final point:

1	2	3
0.231	5.885	10



Solution

최종 솔루션

- $n = 24$
- $d = 22.8 \text{ cm}$
- $H = 10 \text{ m}$



Discussoin

- 실제의 올림픽대교에 비해 지름 8.8% 향상
- 구속조건의 효과가 약했음
(대부분의 변수가 경계조건의 값)
(바람효과에 의한 고유진동수 및 모멘트무시)
- 초기값의 변화에 따른 최종결과 변화미약



무사고 조원 일동

감사합니다