

# 차체구조 프로젝트

연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

Barricade Team

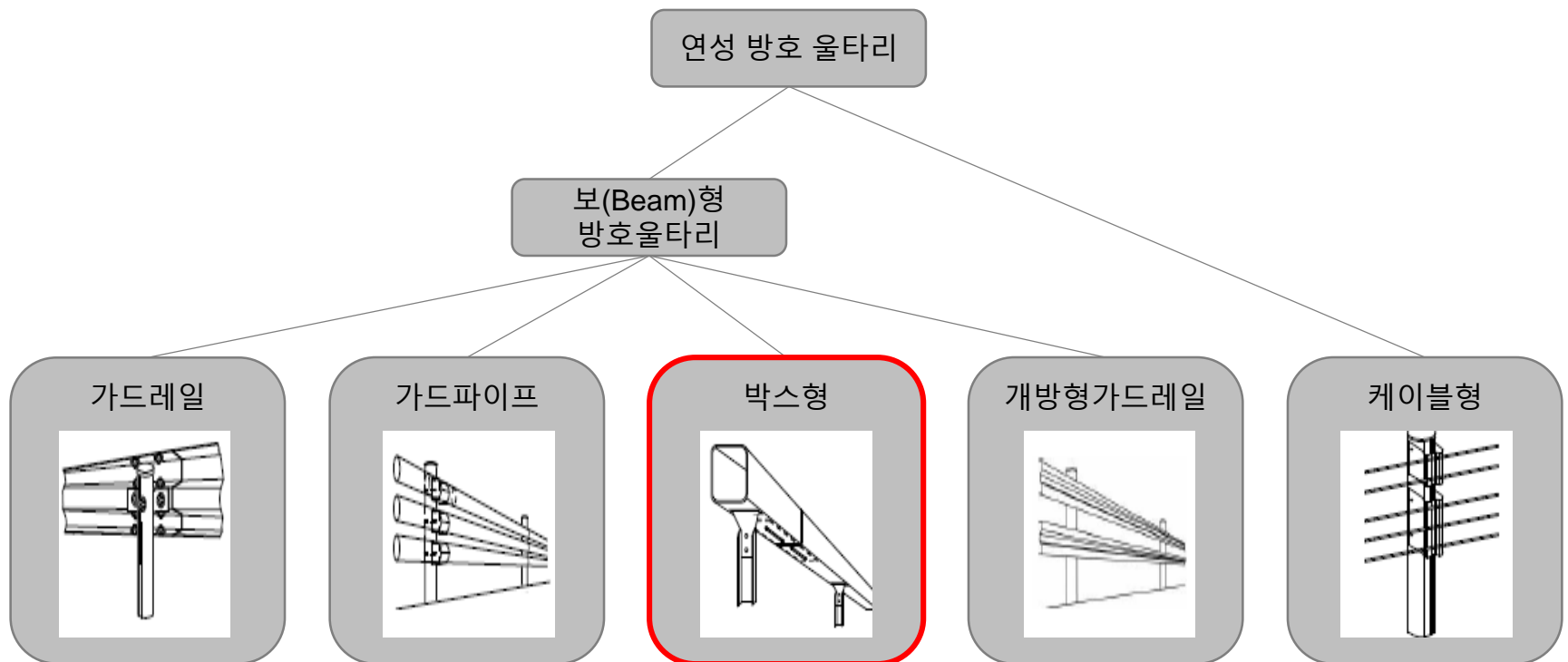
# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 문제 정의

✓ 연성 방호울타리

1) 기능 : 차량이 충돌할 때 변형이 일어나면서 충격에너지를 흡수하는 것이 주된 기능

2) 종류



# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 문제 정의

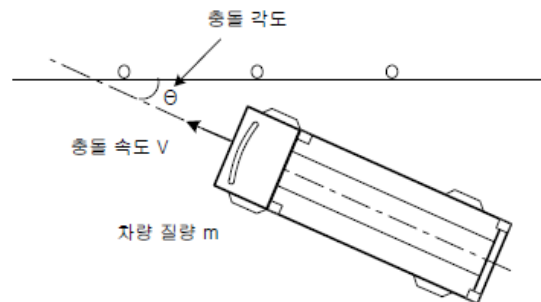
✓ 연성 방호울타리

3) 요구사항 :

(1) 방호울타리는 강도가 높아질수록 대형차의 방호에 효과적이지만, 충격 흡수 능력이 상대적으로 떨어져 탑승자의 안전성 측면에서는 바람직하지 못함.

(2) 등급의 선정은 차량의 방호 성능과 탑승자의 안전성 확보를 균형 있게 고려하는 것이 중요

4) 기준 : 충격도(IS : Impact Severity)로 정의



$$IS = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{V}{3.6} \cdot \sin\theta\right)^2 \dots\dots\dots(\text{식 2-1})$$

여기서, IS : 충격도 (kJ)  
 m : 충돌 차량의 질량 (ton)  
 V : 충돌 속도 (km/시)  
 θ : 충돌 각도 (°)

<그림 2.1> 충격도 산정

| 등급        | SB1 | SB2 | SB3 | SB3-B | SB4 | SB5 | SB5-B | SB6 | SB7 |
|-----------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|
| 기준충격도(kJ) | 60  | 90  | 130 | 150   | 160 | 230 | 270   | 420 | 600 |

# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 문제 정의

✓ 연성 방호울타리

5) 목표 : 박스형 연성 방호울타리 SB1의 기준충격도를 만족하도록 부피 최적화.

| 등급        | SB1 | SB2 | SB3 | SB3-B | SB4 | SB5 | SB5-B | SB6 | SB7 |
|-----------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|
| 기준충격도(kJ) | 60  | 90  | 130 | 150   | 160 | 230 | 270   | 420 | 600 |

| 등급    | 충돌 속도 (km/시) | 차량 중량 (kg) | 충돌 각도 (°) | 기준 충격도 (kJ) |
|-------|--------------|------------|-----------|-------------|
| SB1   | 55           |            |           | 60          |
| SB2   | 65           | 8,000      | 15        | 90          |
| SB3   | 80           |            |           | 130         |
| SB3-B | 85           |            |           | 150         |
| SB4   | 65           | 14,000     |           | 160         |
| SB5   | 80           |            |           | 230         |
| SB5-B | 85           |            |           | 270         |
| SB6   | 80           | 25,000     |           | 420         |
| SB7   |              | 36,000     | 600       |             |

# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

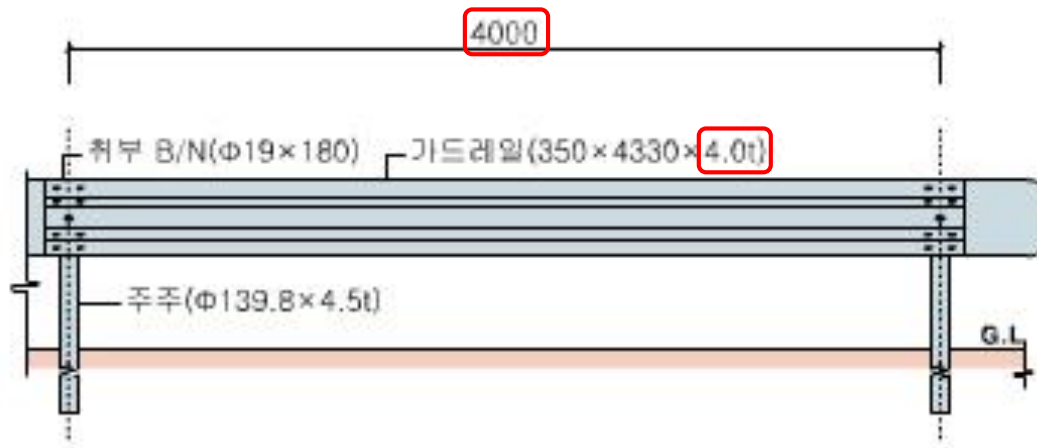
## • 모델링

✓ 박스형 방호 울타리

1) 재료 : 용융합금아연(Malleable Cast Iron)

|      |          |                    |
|------|----------|--------------------|
| 탄성계수 | 190000   | N/mm <sup>2</sup>  |
| 프와송비 | 0.27     |                    |
| 질량밀도 | 7.3e-006 | kg/mm <sup>3</sup> |

2) 제원

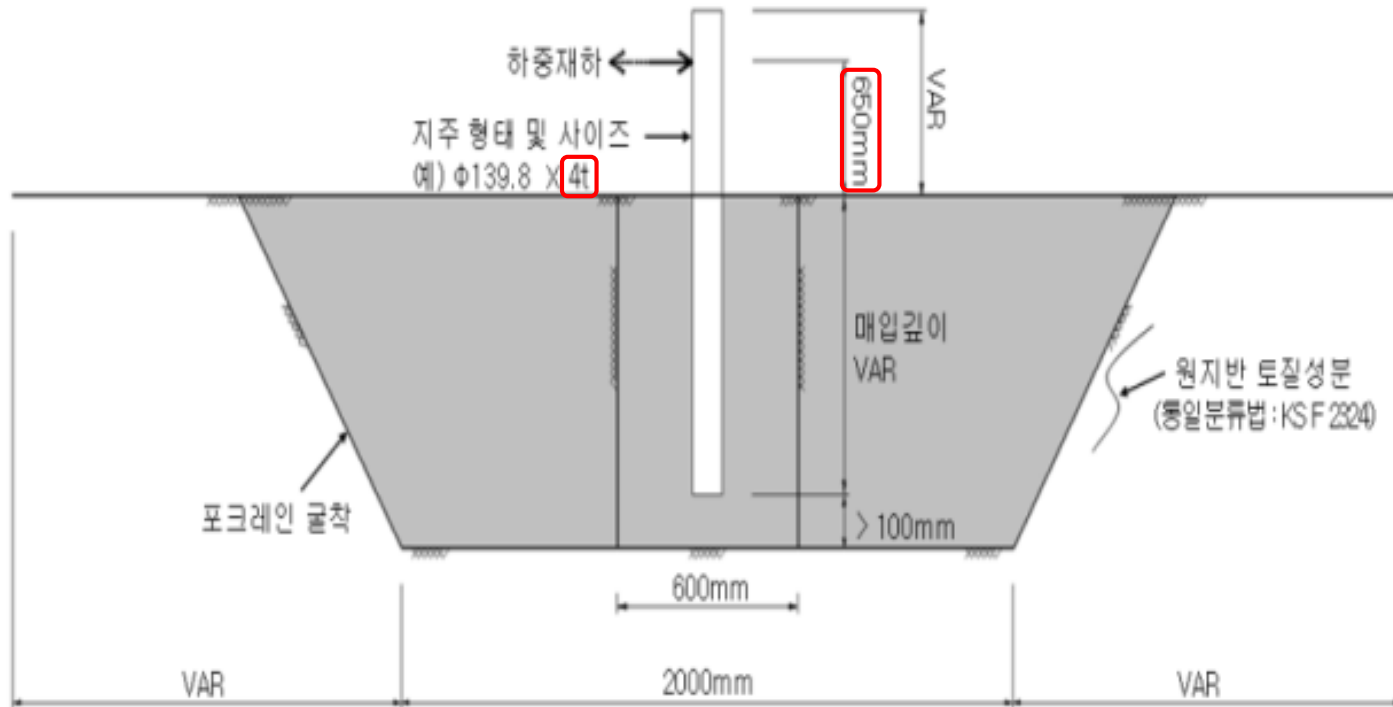


# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 모델링

✓ 박스형 방호 울타리

2) 제원

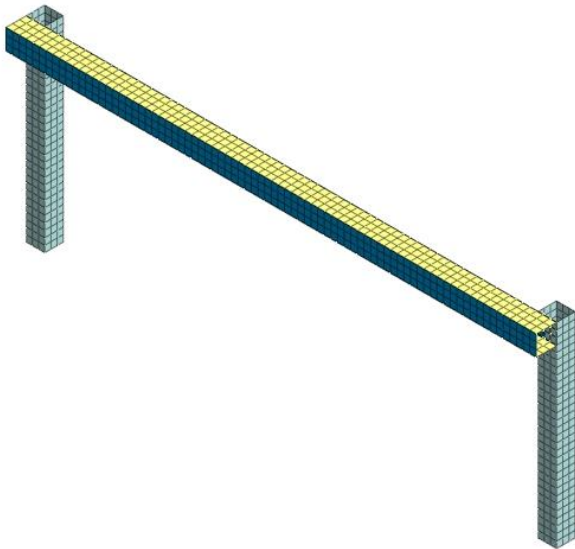


# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

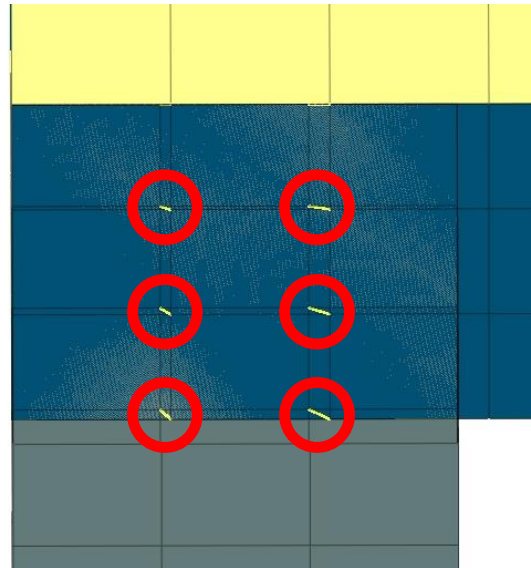
## • 모델링

✓ 박스형 방호 울타리

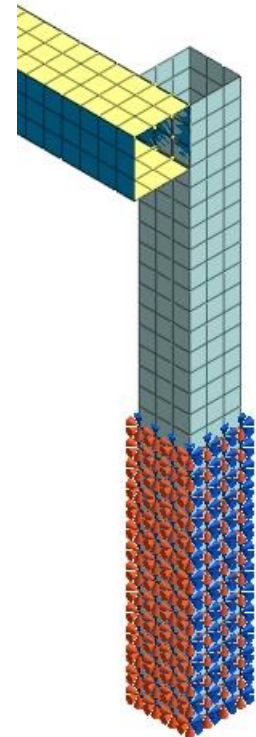
3) 2D 모델링



Box형 가드레일 모델



용접부분은 절점연결로 해결

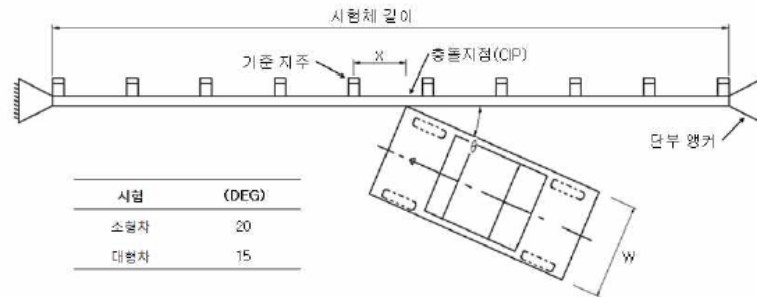


콘크리트 매입부는 고정구속으로 해결

# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 해석 조건

- ✓ 충돌 지점 : 기둥과 기둥 사이 1/4 지점 충돌 실시



<그림 2.16> 방호울타리 충돌지점 기준

- ✓ 시험 조건 ( 충돌 속도 : 55km/h, 차량 중량 : 8000kg, 충돌 각도 : 15deg )

| 등 급   | 충돌 속도 (km/시) | 차량 중량 (kg) | 충돌 각도 (°) | 기준 충격도 (kJ) |
|-------|--------------|------------|-----------|-------------|
| SB1   | 55           | 8,000      | 15        | 60          |
| SB2   | 65           |            |           | 90          |
| SB3   | 80           |            |           | 130         |
| SB3-B | 85           | 14,000     |           | 150         |
| SB4   | 65           |            |           | 160         |
| SB5   | 80           |            |           | 230         |
| SB5-B | 85           | 25,000     |           | 270         |
| SB6   | 80           |            | 420       |             |
| SB7   |              |            | 36,000    | 600         |



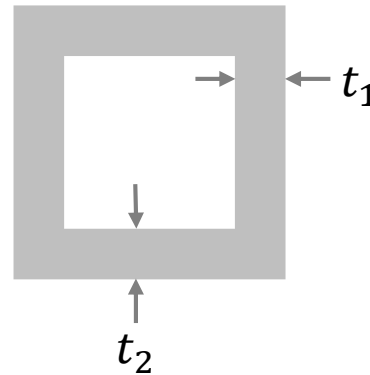
# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 문제 정식화

✓ 설계 변수 :  $t_1, t_2$

✓ 목적 함수 :  $\text{Min } f(x) = \text{Volume}$

✓ 제약 조건



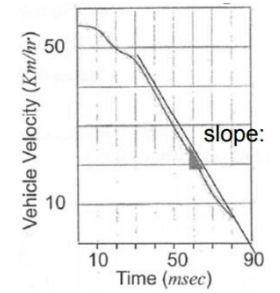
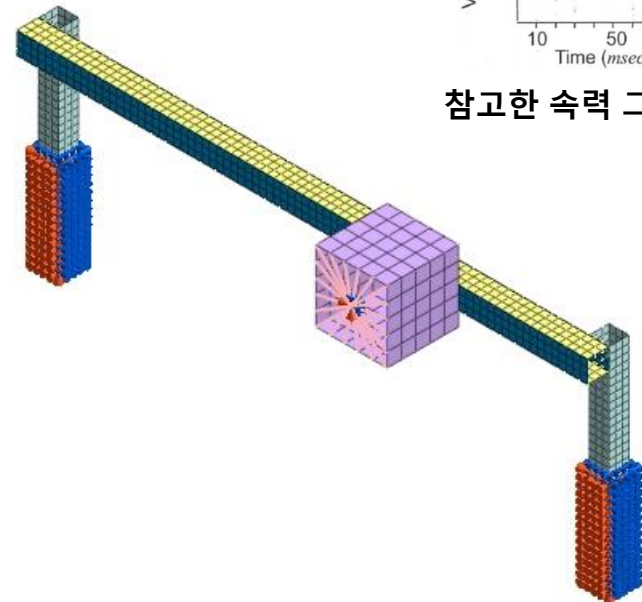
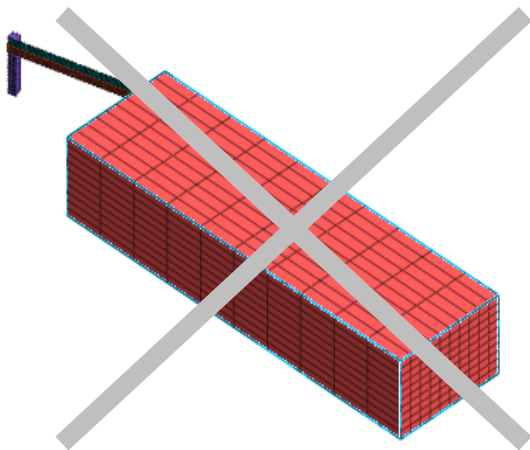
| 구분    | 평가기준  |
|-------|---|
| 구조 성능 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 차량이 방호울타리를 돌파하지 않을 것</li> <li>· 최대 총돌 변형 거리 (지주를 흡속에 매입할 경우) : 1.1m 이하</li> <li>· <b>최대 총돌 변형 거리 (지주를 콘크리트에 매입할 경우) : 0.3m 이하</b></li> <li>· 기타 주요 구성부재의 비산이 없을 것</li> </ul> |

**Maximum deflection  $\leq 300\text{mm}$**

# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 해석 과정

✓ 충돌해석 과정



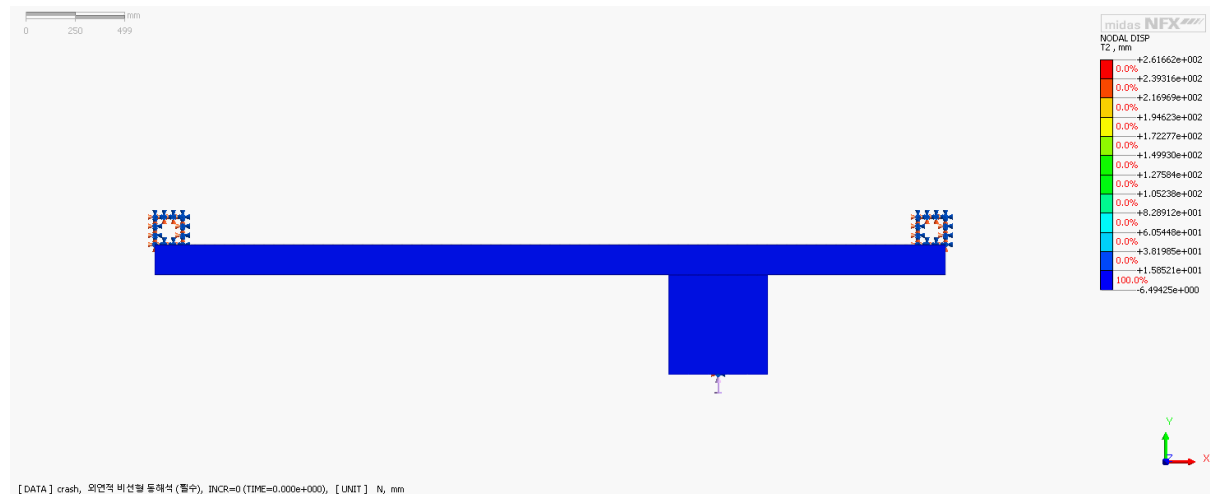
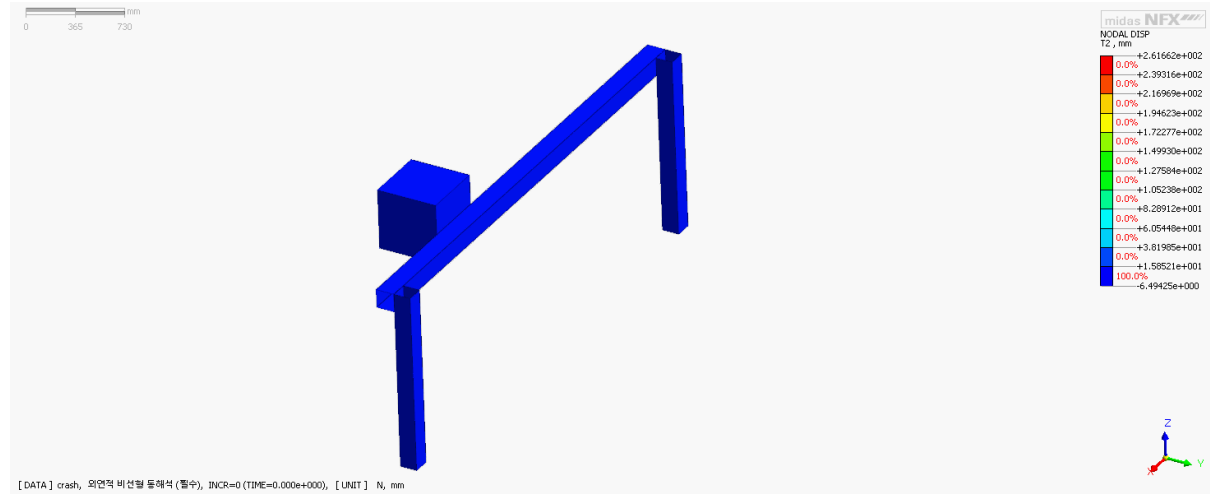
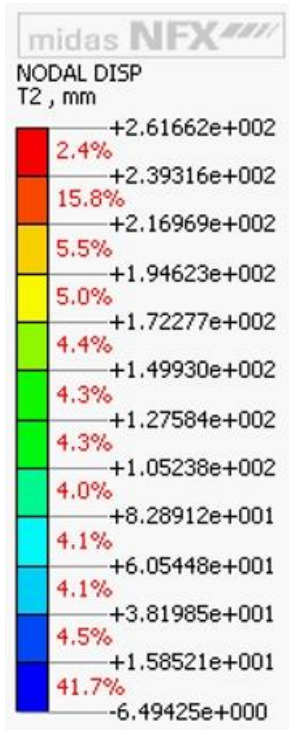
참고한 속도 그래프

50cm의 박스로 충돌  
8000kg의 질량을 갖도록 밀도 수정

# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 해석 결과

✓ 충돌해석 결과



# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 최적화

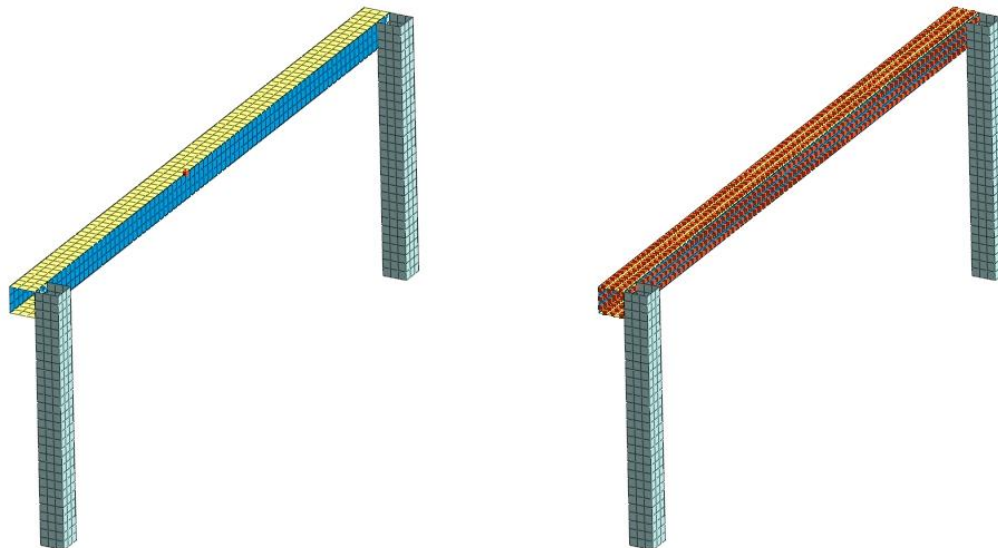
✓ 치수최적화 수행 과정

(1) 설계변수 정의

설계세트

| 번호  | 이름     | 최소값      | 초기값      | 최대값      | 변수종류 | 이산값 | 설명             |
|-----|--------|----------|----------|----------|------|-----|----------------|
| ▶ 1 | side   | 0.500000 | 4.000000 | 6.000000 | 연속   | X   | 특성, side, 두께   |
| * 2 | topbot | 0.500000 | 4.000000 | 6.000000 | 연속   | X   | 특성, topbot, 두께 |

(2) 센서 정의



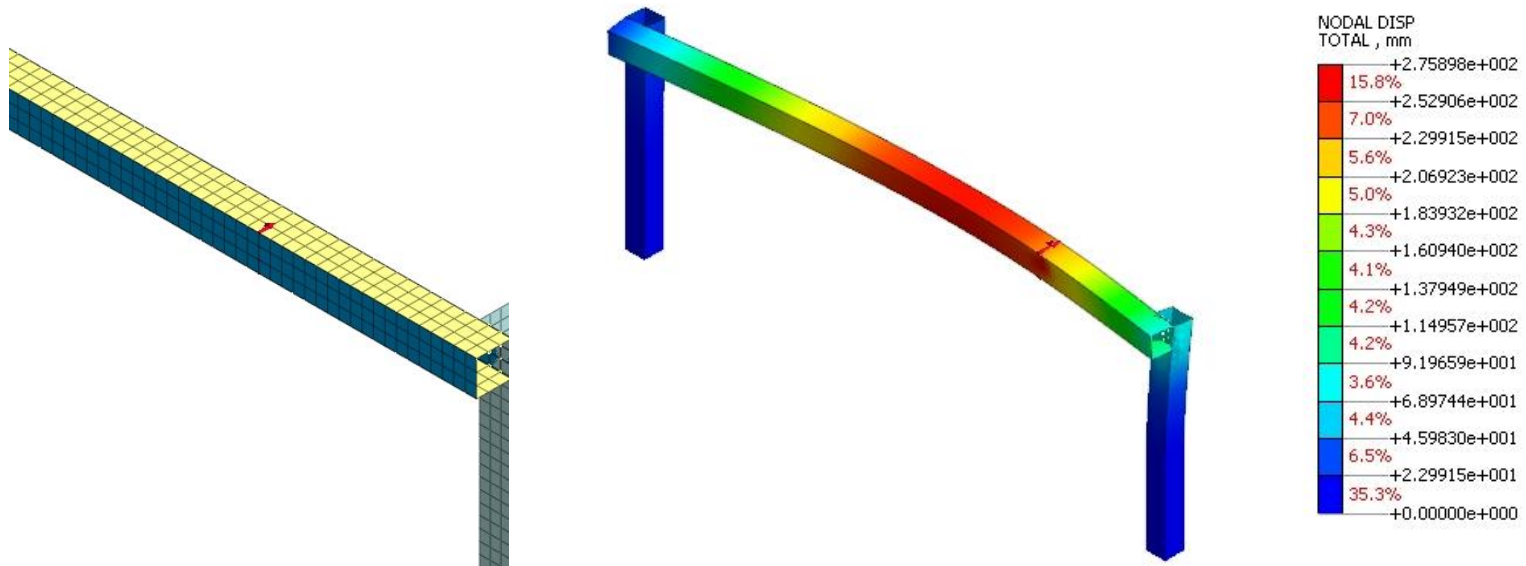
# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 최적화

✓ 치수최적화 수행 과정

### (3) 문제 발생

실험점 100개 추출시 충돌해석 100번 수행 - 시간적으로 비효율적  
충돌해석에서 절점의 반력 측정 후 선형해석!



# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

## • 최적화

✓ 치수최적화 수행 과정

(4) 실험점 추출

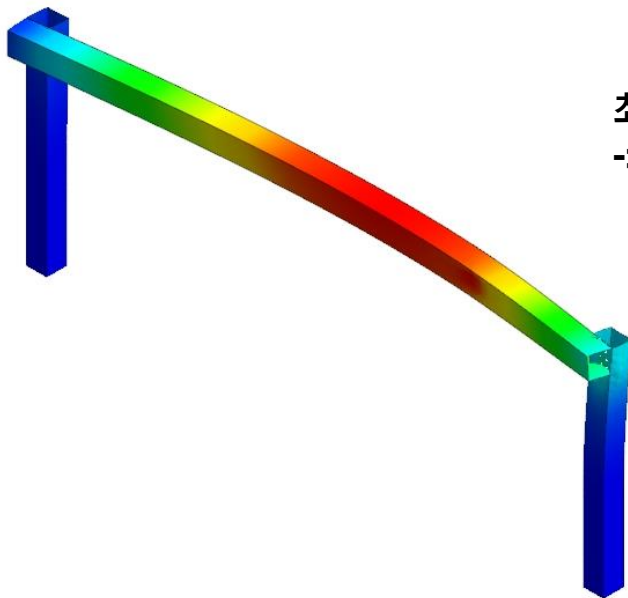
|     |     | side          | top&bottom    | disp          | volume        |
|-----|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 80  | LHD | 4.860939e+000 | 1.037128e+000 | 2.892498e+002 | 7.190924e+006 |
| 81  | LHD | 4.903890e+000 | 1.156826e+000 | 2.836496e+002 | 7.389225e+006 |
| 82  | LHD | 5.000431e+000 | 5.204568e+000 | 2.246094e+002 | 1.244194e+007 |
| 83  | LHD | 5.064498e+000 | 1.938656e+000 | 2.601590e+002 | 8.538245e+006 |
| 84  | LHD | 5.065883e+000 | 4.956365e+000 | 2.251733e+002 | 1.221912e+007 |
| 85  | LHD | 5.157189e+000 | 1.716654e+000 | 2.609875e+002 | 8.380589e+006 |
| 86  | LHD | 5.181997e+000 | 2.273040e+000 | 2.510727e+002 | 9.089181e+006 |
| 87  | LHD | 5.275108e+000 | 2.092541e+000 | 2.508317e+002 | 8.982638e+006 |
| 88  | LHD | 5.328929e+000 | 3.907830e+000 | 2.281929e+002 | 1.126146e+007 |
| 89  | LHD | 5.349062e+000 | 4.585712e+000 | 2.216221e+002 | 1.211248e+007 |
| 90  | LHD | 5.403771e+000 | 5.349742e+000 | 2.142486e+002 | 1.311068e+007 |
| 91  | LHD | 5.466129e+000 | 3.814773e+000 | 2.256826e+002 | 1.131528e+007 |
| 92  | LHD | 5.542424e+000 | 7.265592e-001 | 2.743270e+002 | 7.643145e+006 |
| 93  | LHD | 5.584501e+000 | 4.557798e+000 | 2.165465e+002 | 1.236549e+007 |
| 94  | LHD | 5.650707e+000 | 3.114618e+000 | 2.279255e+002 | 1.068668e+007 |
| 95  | LHD | 5.703990e+000 | 3.377079e+000 | 2.240766e+002 | 1.107164e+007 |
| 96  | LHD | 5.742003e+000 | 2.590728e+000 | 2.312256e+002 | 1.015927e+007 |
| 97  | LHD | 5.804066e+000 | 9.435102e-001 | 2.581615e+002 | 8.226645e+006 |
| 98  | LHD | 5.859798e+000 | 5.976876e+000 | 2.009834e+002 | 1.443127e+007 |
| 99  | LHD | 5.896875e+000 | 2.956592e+000 | 2.236015e+002 | 1.079415e+007 |
| 100 | LHD | 5.998236e+000 | 2.019011e+000 | 2.317238e+002 | 9.774629e+006 |

# 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

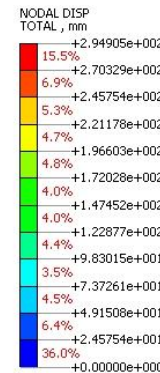
## • 최적화 결과

✓ 치수최적화 결과

| 설계변수 이름                  | 초기값      | 최소값 | 최대값    | 설계안 1    | 설계안 2    | 설계안 3  | 사용자 설계안 |
|--------------------------|----------|-----|--------|----------|----------|--------|---------|
| <b>입 력</b>               |          |     |        |          |          |        |         |
| side                     | 4        | 0.5 | 6      | 4.7      | 4.6      | 4.5    | 4.7     |
| topbot                   | 4        | 0.5 | 6      | 1.1      | 1.1      | 1.3    | 1.1     |
| <b>출 력 ( 예상값 / 해석값 )</b> |          |     |        |          |          |        |         |
| 목적함수 변화율 (%)             | 0        |     |        | -27      | -29      | -28    |         |
| 제약조건 최대위배율 (%)           | 0        |     |        | 0        | 0        | 0      |         |
| vol                      | 9.8e+006 |     |        | 7.1e+006 | 6.9e+006 | 7e+006 |         |
| disp                     | 2.7e+002 |     | 3e+002 | 2.9e+002 | 3e+002   | 3e+002 |         |



최대 변위 295mm  
-> 제약조건 만족



부피감소율

$$1 - \frac{4.7 + 1.1}{4 + 4} = 0.275$$

약 27.5% 감소



## 연성 방호울타리(Box 형 보) 부피 최적화

### • 참고문헌

- 1) 도로안전시설 설치 및 관리 지침 (국토해양부, 2012.11)
- 2) <https://www.crashbarrier.org/crashbarrier/box-beam-guardrail.html>
- 3) 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람 (국토교통부, 2015.5)