




三豊百貨店
SANPOONG DEPARTMENT STORE
SANPOONG

반복되는 대형人災

OPEN
OPEN
OPEN
로자 탈트 변자
소속의 가구
비치

An aerial photograph showing a large, multi-story building that has partially collapsed. The structure is heavily damaged, with significant debris scattered on the ground and within the remaining parts of the building. Several workers in high-visibility yellow safety gear are visible on the ground near the base of the structure, likely conducting an investigation or cleanup. The overall scene is one of a major structural failure.

경주 마우나리조트 사고분석

미래자동차공학과
안치호, 오종은, 유지석

CONTENTS

01

사건 개요

02

PEB 구조란?

03

3D 모델링

04

예상 원인 분석

05

결과

사건 개요

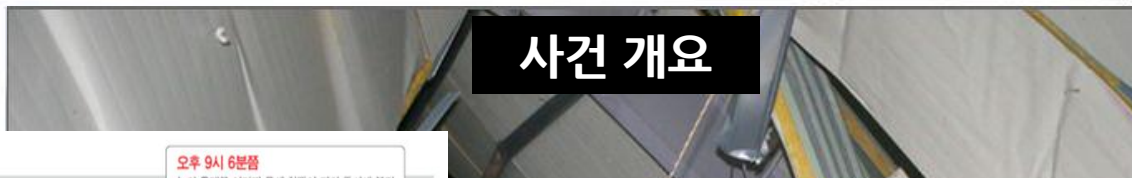
01

02

03

04

05



사건 개요



사건명

경주 마우나 리조트 붕괴 사건

사건 일시

2014/2/17 오후 8시 10분

위치

경상북도 경주시 양남면

주최

부산외국어 대학교

사상자

사망 11명 부상자 124명

PEB 구조란?

01

02

03


04

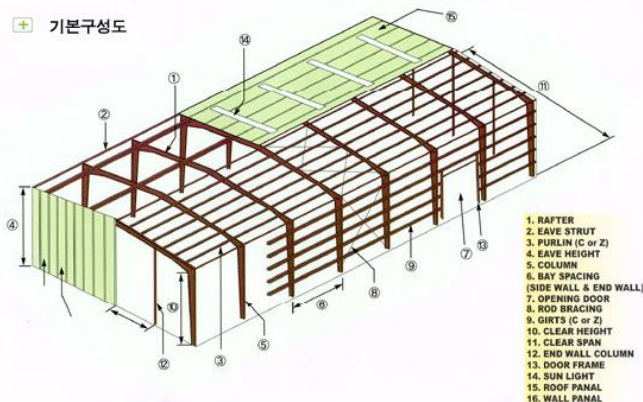
05

PEB 공법의 정의

✓ PEB 공법이란? (Pre-Engineered Building)

철골 구조물을 세운 다음 샌드위치 패널로 마감하는 공법으로, 내부에 기둥을 세울 필요가 없어 넓은 공간이 필요한 건물을 지을 때 흔히 쓰인다.

 기본구성도



PEB 구조란?

01

02

03

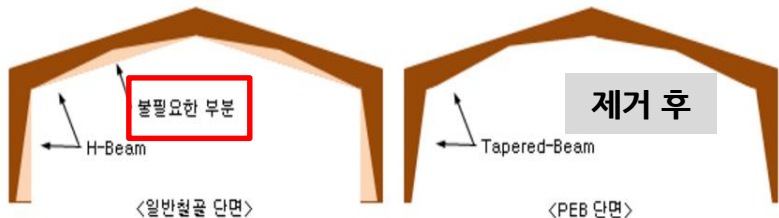
04

05

PEB 공법의 장단점

✓ 장점

1. 휨모멘트도에 따라 불필요한 자재를 제거함으로 비용 절약
2. 미리 공장에서 자재가 조립돼서 (Pre) 나와 공사기간이 단축



✓ 단점

1. 내부에 기둥이 없어 하중에 취약
최적설계가 필요함

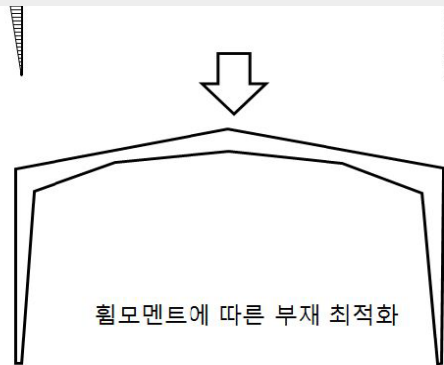


그림 11 PEB 시스템 개념도



PEB 구조란?

01

02

03

04

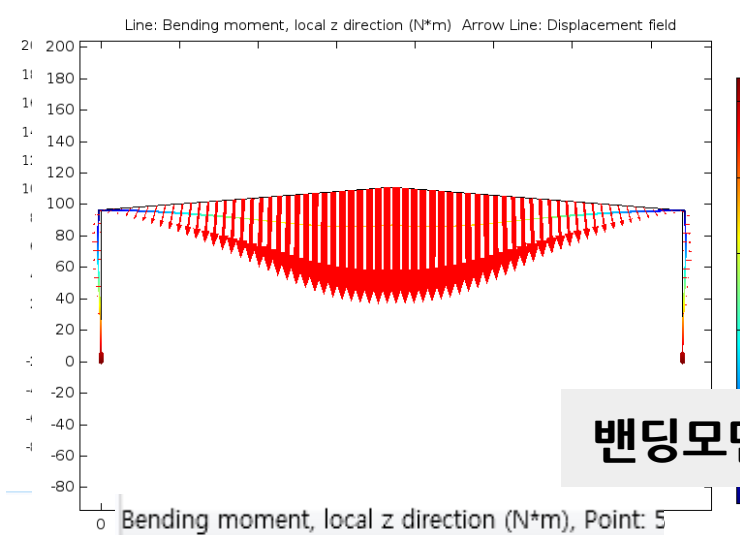
05

PEB 공법의 모멘트선도를 통한 일반 철근과 비교(2D)

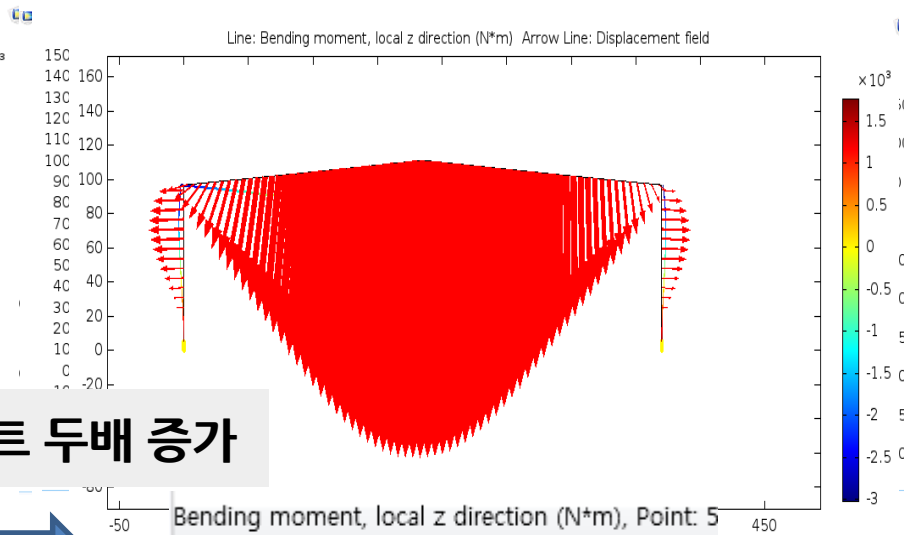
Normal

100KN

PEB



532.95

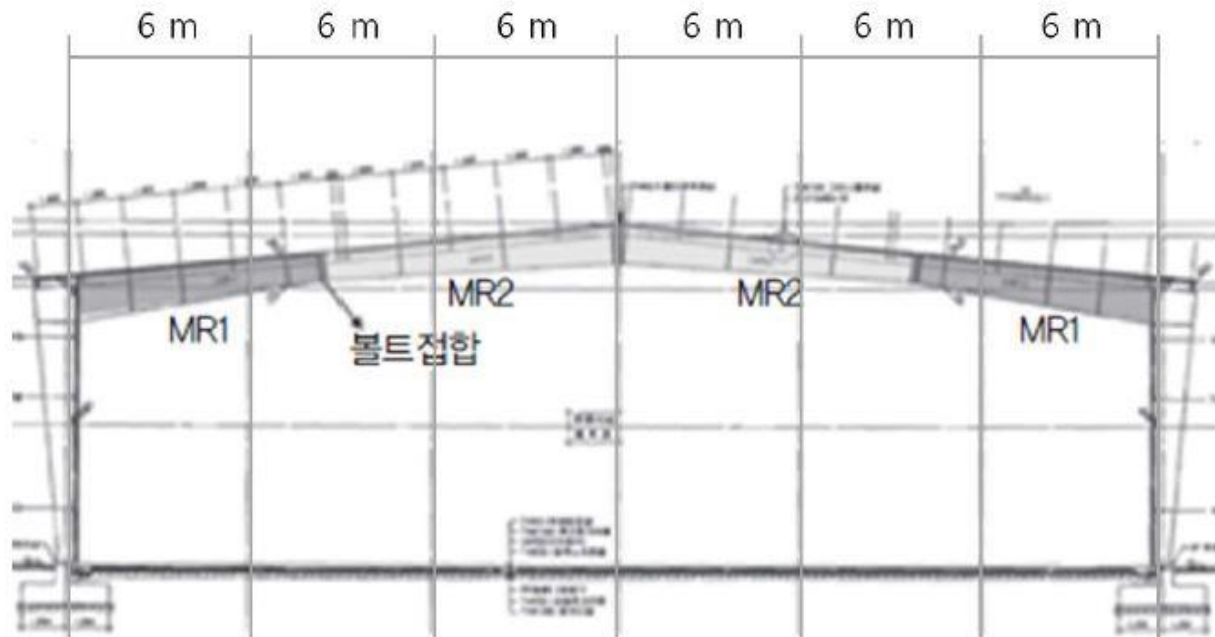


932.27

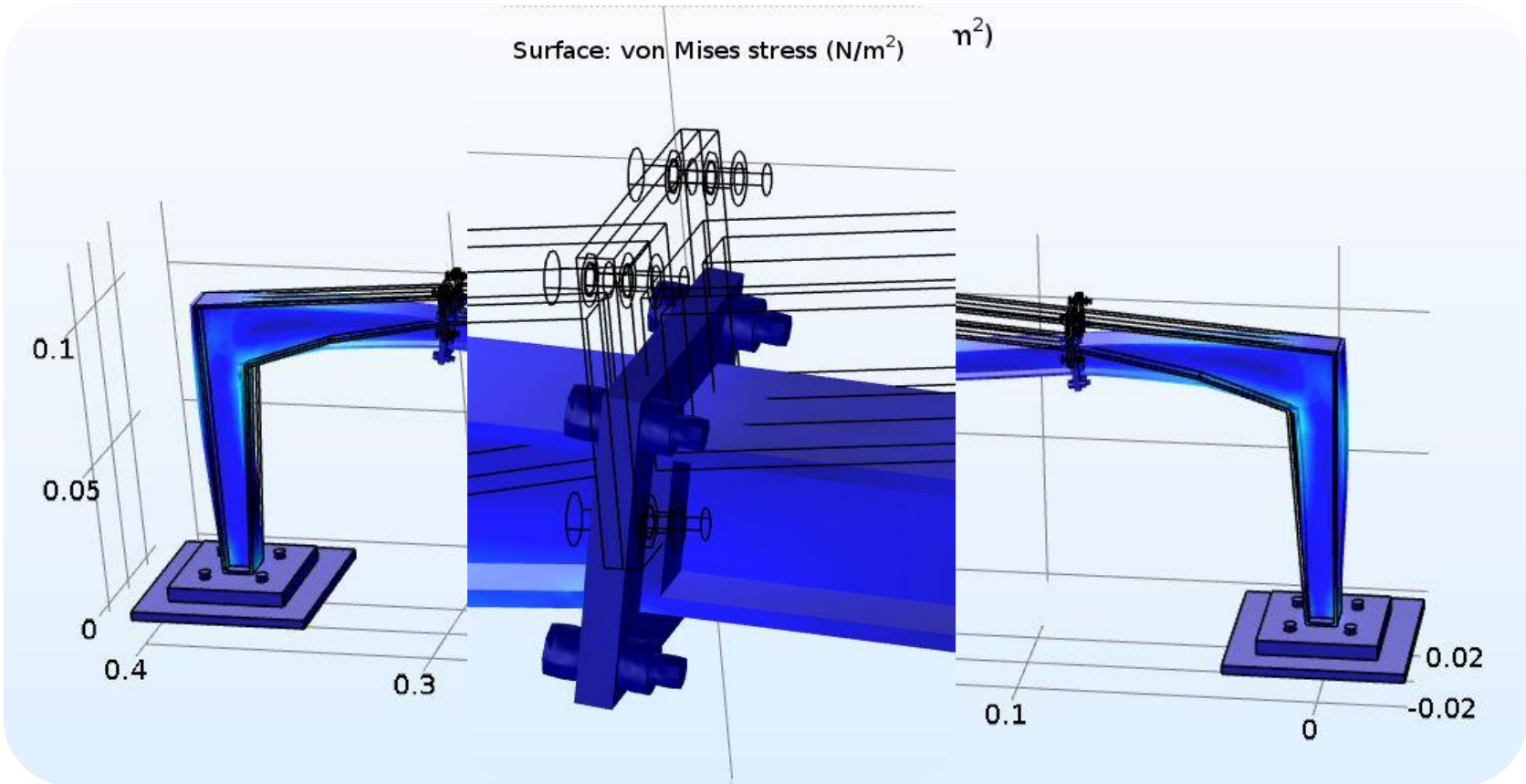
밴딩모멘트 두배 증가



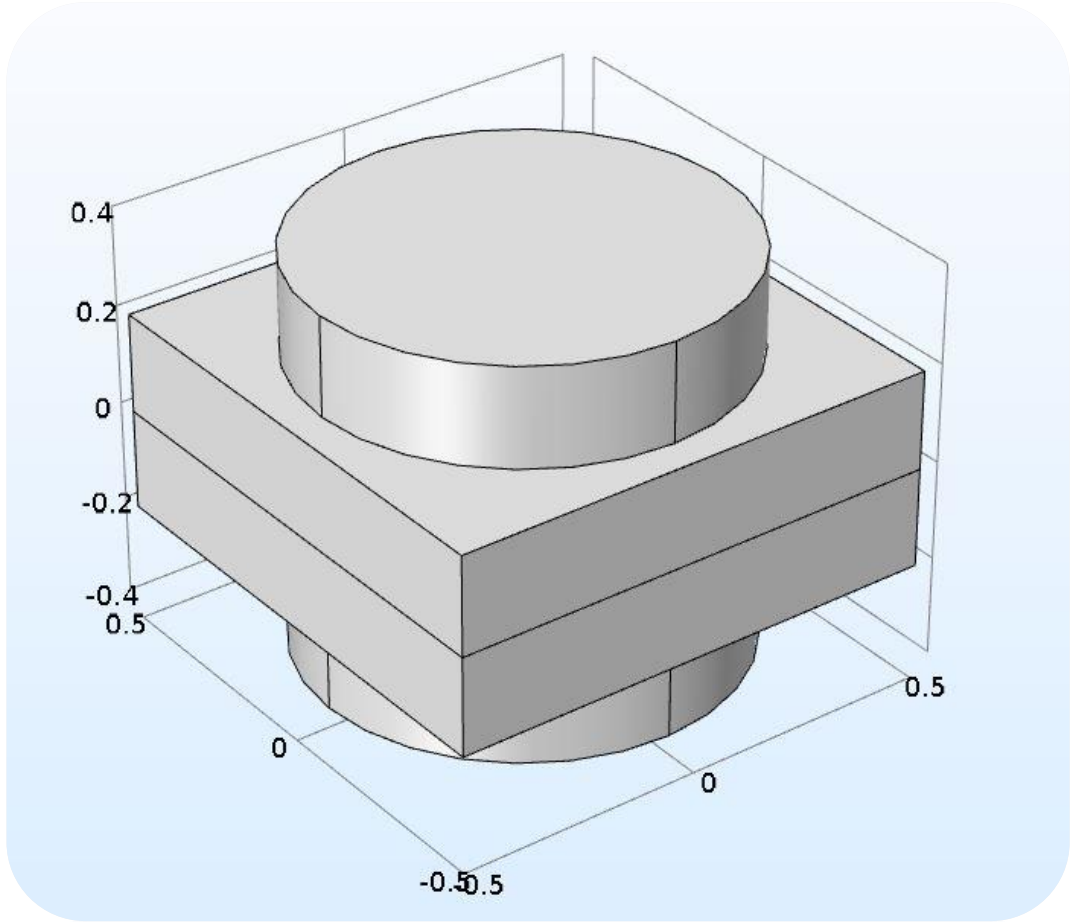
- 01
- 02
- 03
- 04
- 05



- 01
- 02
- 03
- 04
- 05



- 01
- 02
- 03
- 04
- 05





3D 모델링

BOLT TEST - Pair

01

02

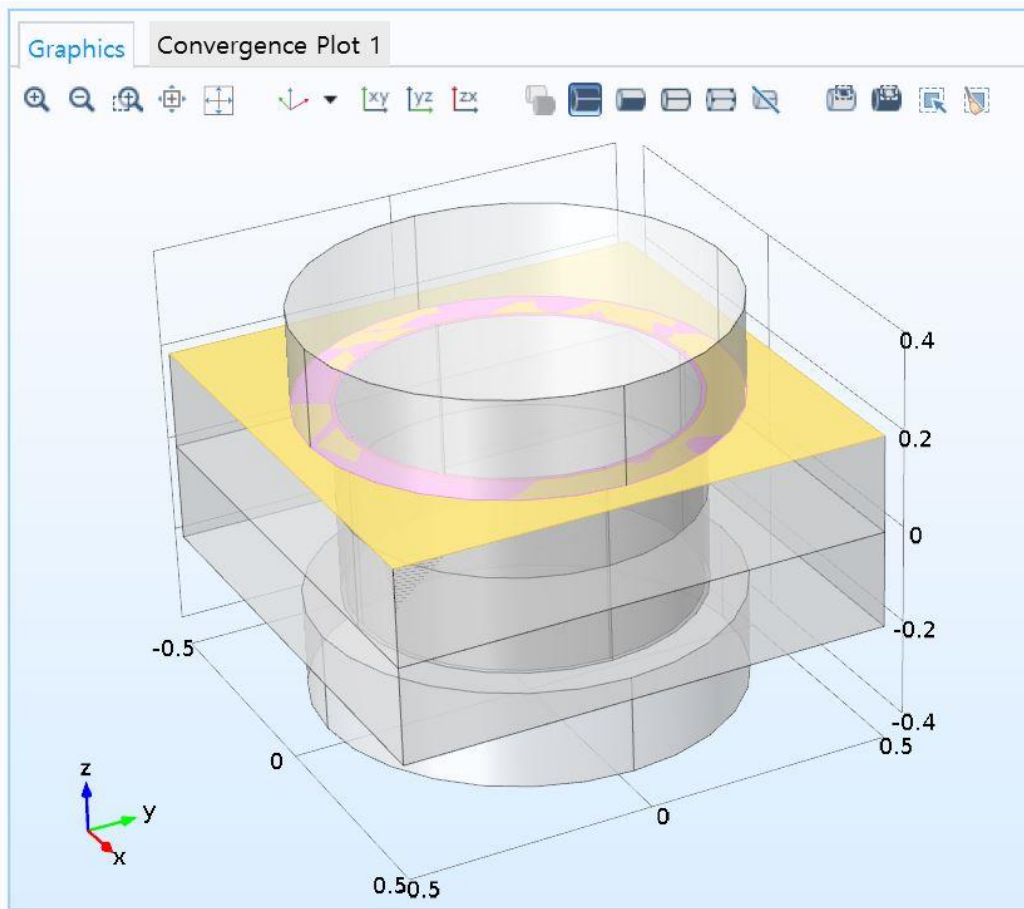
03

04

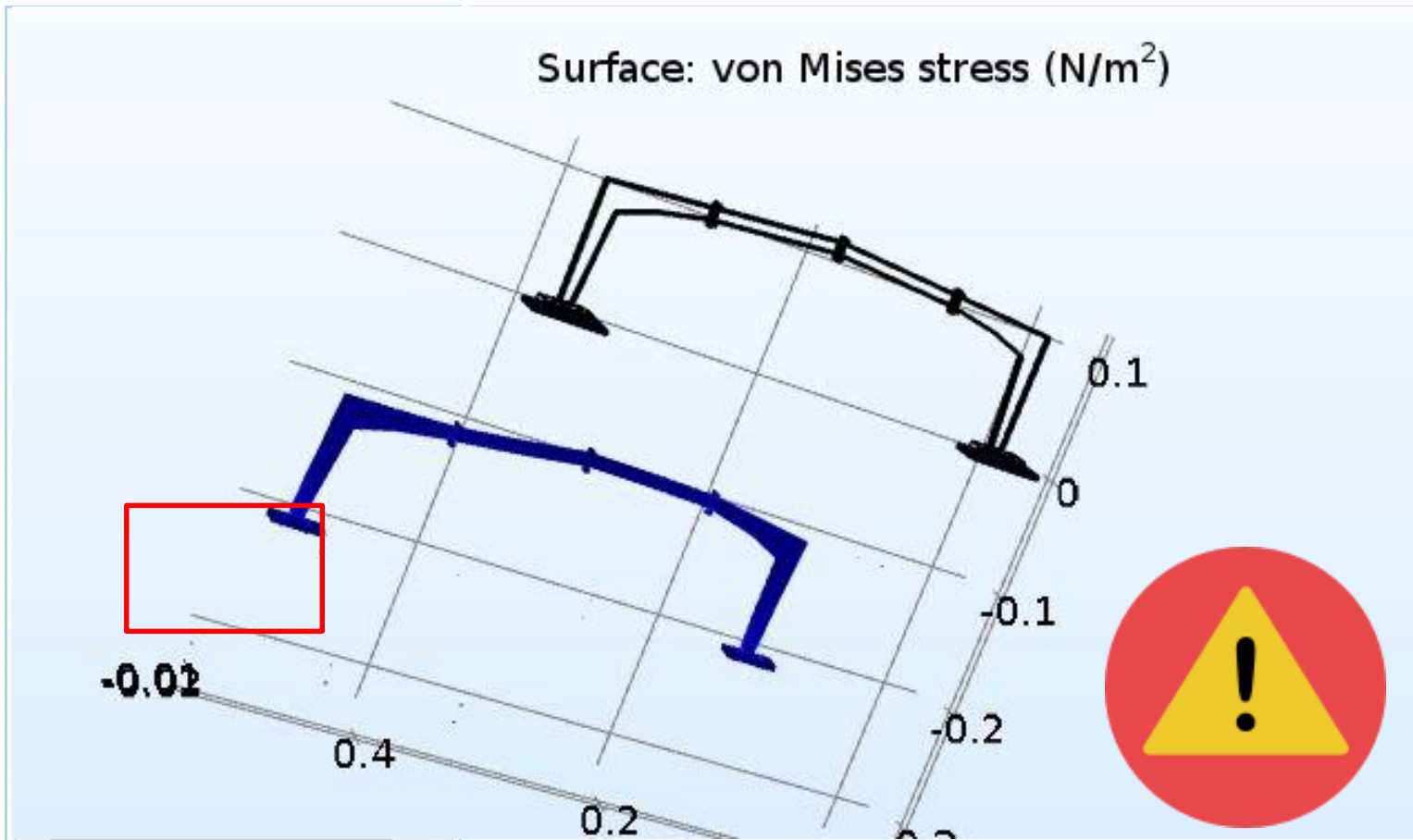
05

Model Builder

- bolt_test3.mph (root)
 - Global Definitions
 - Materials
 - Component 1 (comp1)
 - Definitions
 - Identity Pair 2 (ap2)
 - Identity Pair 3 (ap3)
 - Contact Pair 4 (p4)
 - Contact Pair 5 (p5)
 - Boundary System 1 (sys1)
 - View 1
 - Geometry 1
 - Materials
 - Solid Mechanics (solid)
 - Linear Elastic Material 1
 - Free 1
 - Initial Values 1
 - Prescribed Displacement
 - Bolt Pre-Tension 1
 - Bolt Selection 1
 - Continuity 1
 - Free 1
 - Contact 1



- 01
- 02
- 03
- 04
- 05



3D 모델링

BOLT TEST - Pretension

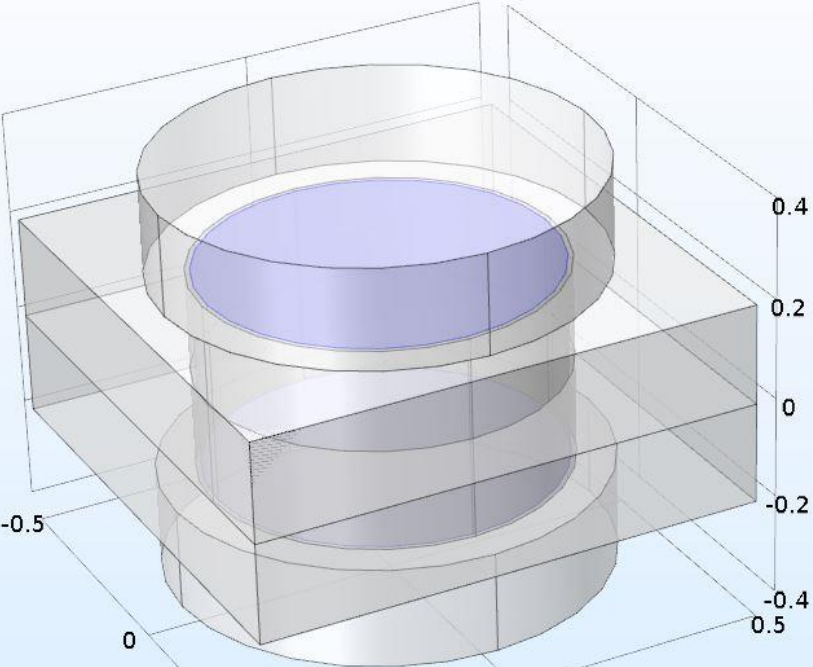
01
02
03
04
05

Model Builder

- Identity Pair 3 (p3)
- Contact Pair 4 (p4)
- Contact Pair 5 (p5)
- Boundary System 1 (sys1)
- View 1
- Geometry 1
- Materials
- Solid Mechanics (solid)
 - Linear Elastic Material 1
 - Free 1
 - Initial Values 1
 - Bolt Pre-Tension 1**
 - Bolt Selection 1**
 - Continuity 1
 - Free 1
 - Contact 1
 - Contact 2
 - Spring Foundation 1
 - Spring Foundation 2
 - Body Load 1
 - Body Load 2
- Mesh 1

Study 1

Graphics Convergence Plot 1



0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.5
0
0.5
0.5
0.5



3D 모델링

BOLT TEST - Spring const

01

02

03

04

05

Model Builder

- Identity Pair 3 (p3)
- Contact Pair 4 (p4)
- Contact Pair 5 (p5)
- Boundary System 1 (sys1)
- View 1
- Geometry 1
- Materials
- Solid Mechanics (solid)
 - Linear Elastic Material 1
 - Free 1
 - Initial Values 1
 - Bolt Pre-Tension 1
 - Bolt Selection 1
 - Continuity 1
 - Free 1
 - Contact 1
 - Contact 2
 - Spring Foundation 1
 - Spring Foundation 2
 - Body Load 1
 - Body Load 2
- Mesh 1
- Study 1

Graphics Convergence Plot 1

z

y

x

0.50,5

0

0

-0.5

0.4

0.2

0

-0.2

-0.4

0.5

01

02

03

04

05

예제 7-3

SAE 5등급인 $\frac{3}{4}$ 인치-16UNF \times $2\frac{1}{2}$ 볼트가 이음에 사용되어 6 kip의 인장하중을 받는다. 볼트 초기인장력은 $F_i = 25$ kip이다. 볼트와 부재의 강성은 각각 $k_b = 6.50$, $k_m = 13.8$ Mlb/in이다.

- (a) 초기인장력만의 상태와 외력(P)까지 추가된 상태에서 볼트에 발생하는 각각의 응력값을 구하라. 계산된 두 응력값을 볼트의 SAE 최소보증강도와 비교하라.
- (b) 식 (7-27)을 사용하여 초기인장력을 발생시키는 데 필요한 토크를 구하라.
- (c) 식 (7-26)과 $f = f_c = 0.15$ 를 사용하여, 초기인장력을 발생시키는 데 필요한 토크를 구하라.

이므로, 식 (7-24)에서 외부하중이 추가된 상태에서의 볼트응력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F_b}{A_t} = \frac{CP + F_i}{A_t} = C \frac{P}{A_t} + \sigma_i \\ &= 0.320 \frac{6}{0.373} + 67.92 = 72.17 \text{ kpsi}\end{aligned}$$

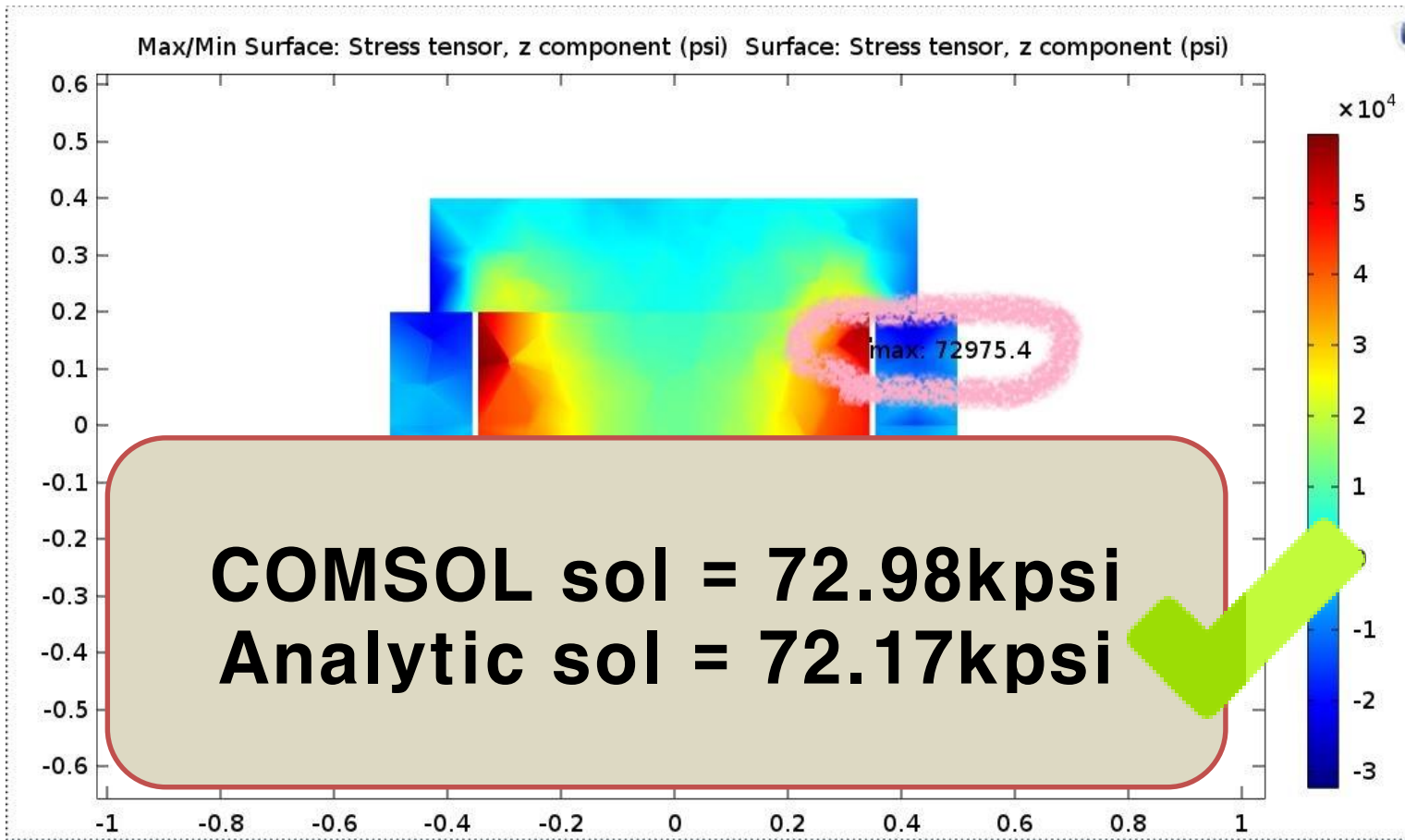
답



3D 모델링

BOLT TEST - Analytic

01
02
03
04
05



3D 모델링

01

02

03

04

05

당시 상황

1 폭설

- 경주에 눈이 사상 최대로 내렸다.
(당시 경주의 평균 적설하중은 0.5KN/m^2)
- 눈이 오랫동안 쌓이며 습설이 되면서
하중이 더 가해져 11.4KN/m^2 의 힘이 가해
졌다. (국립과학수사원)

표 3.4 사고발생 당시 경주지역일원 적설량누계(기상청 자료)

일자	기온(°C)	적설량(cm)	적설누계(cm)
2014.02.06	-6.5~3.1	-	
02.07	-2.1~4.3	1.7	
02.08	-0.1~5.3	1.8	
02.09	-0.3~4.9	-	
02.10	-2.1~-0.2	3.5	
02.11	-6.8~1.0	34.2	
02.12	-2.5~1.8	34.8	
02.13	-0.4~2.7	26.6	
02.14	-0.2~2.8	15.3	
02.15	-2.2~7.0	10.0	
02.16	-4.7~9.6	8.5	
02.17	0.2~7.3	0.8	137.2

표 3.3 눈의 일반적인 상태와 단위중량 (2005 항만시설 설계기준)

눈의 일반적인 상태	단위중량 (kN/m^3)
건조한 가루 같은 눈이 자중으로 눌러진 경우	1.2
건조한 가루 같은 눈이 풍압을 받는 경우	1.7
약간의 수분을 함유하고 자중으로 눌러진 경우	4.4
많은 수분을 함유하고 지중으로 눌러진 경우	8.3

3D 모델링

01

02

03

04

05

당시 상황

2 마우나리조트 구조

- 리조트 철골이 대형 건물용이 아니었다.
(스테인리스강판)
- 지붕의 경사도가 4.5도로 매우 낮았다.
(평면에 가까움)

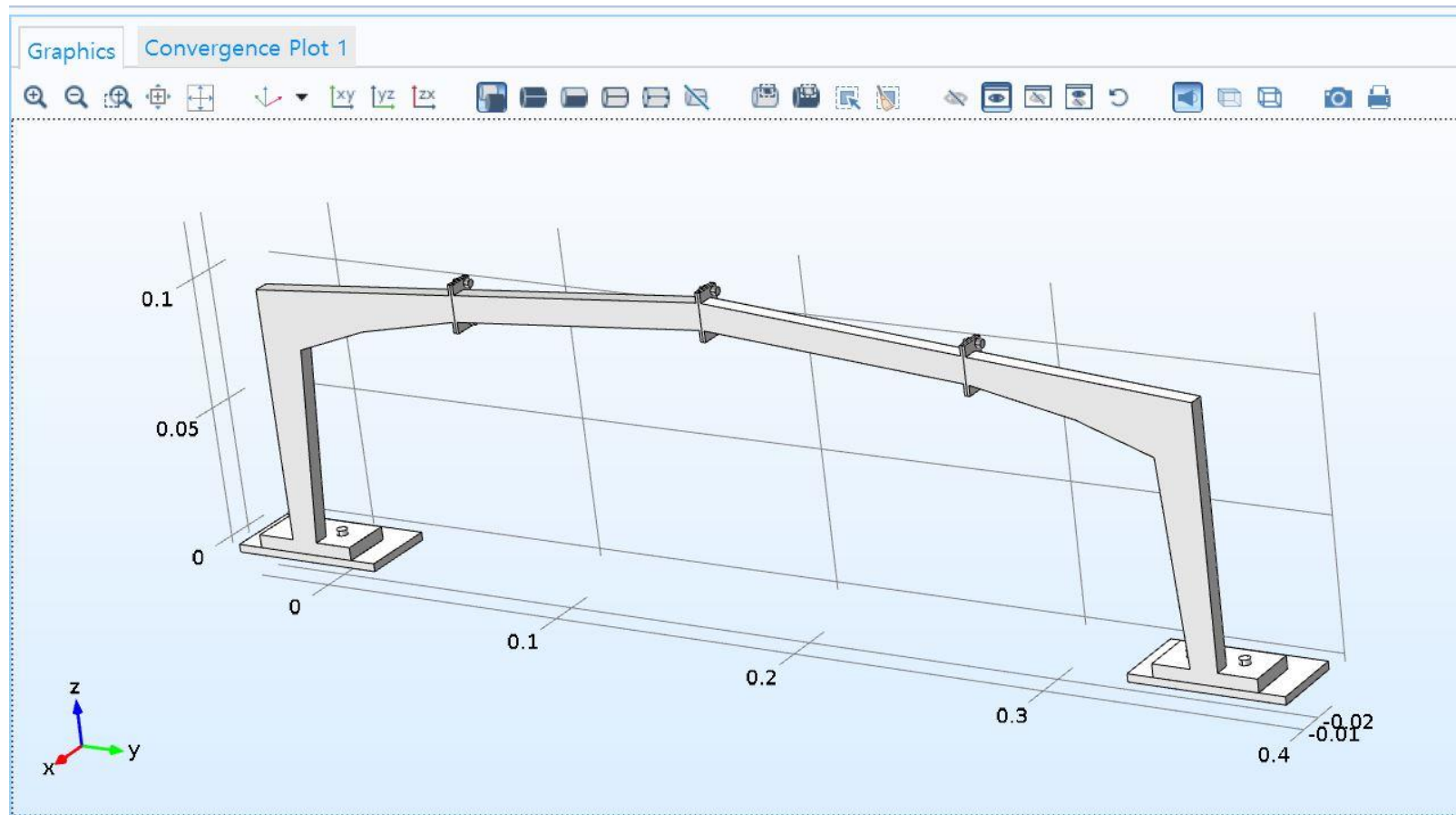


금속 전문가 등에 따르면, 중앙 철골 구조물인 대형 H빔의 재질은 통상 일반 구조용 압연강재(SS400) 또는 용접용 구조용 압연강재(SM490)를 사용해야 한다.

이들 강재의 특성은 힘이 가해지면 휘어지다가 끝까지 버티지 못할 경우 결국 끊어진다. 즉, 고무줄과 같은 성질을 띠고 있어 휘어지다가 결국엔 절단되는 것이다.

스테인레스 스틸일 가능성이 높다. 스테인리스 스틸은 뼈대를 이루는 구조 용도로 사용해서는 안 된다.

01
02
03
04
05





예상원인 분석

01

02

03

04

05

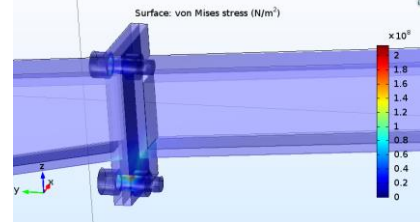
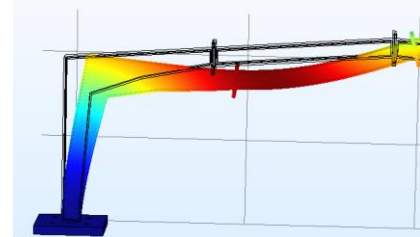
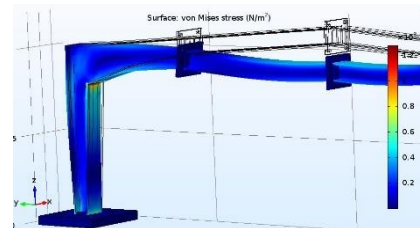
원인



Bending

Buckling

Bolt failure



예상원인 분석

01

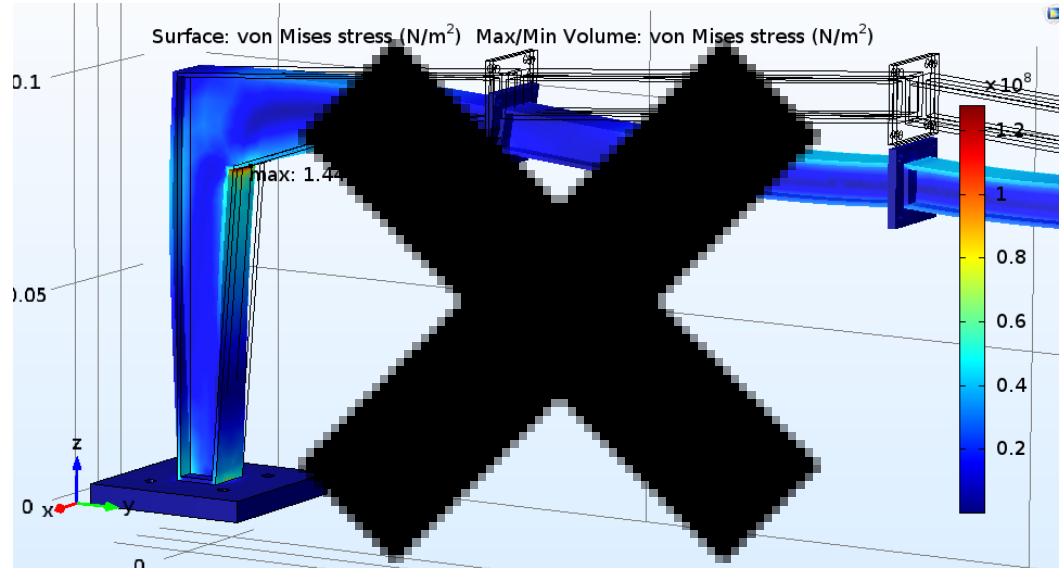
02

03

04

05

(1) Bending



Safety factor

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

304 Stainless steel
 $S_y = 276 \text{ Mpa}$

Von mises stress
 $= 144 \text{ Mpa}$

$n = 276 / 144 = 1.92$

예상원인 분석

01

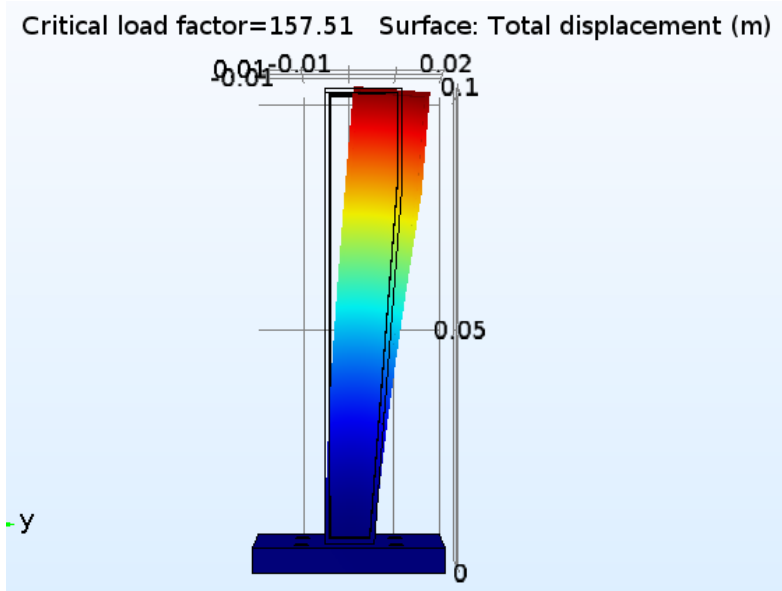
02

03

04

05

(2) Buckling



한쪽 빔에 작용하는 힘=365N

Critical load factor=157.51

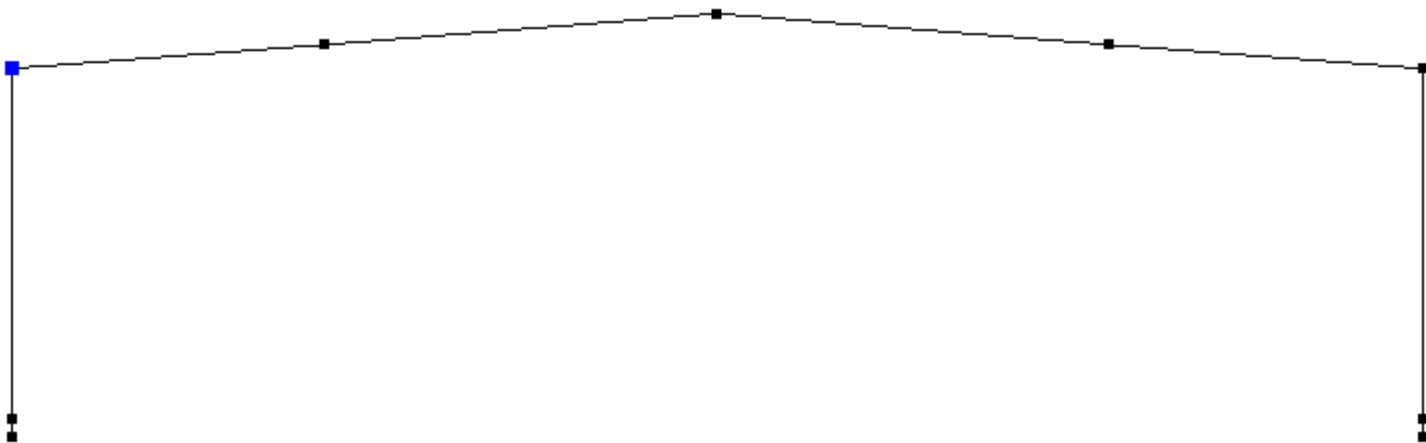
1차 좌굴 하중

$P1 = 168.71 * 365 = 61.6 \text{ kN}$

예상원인 분석

01
02
03
04
05

(2) Buckling



Bending moment, local z direction (N*m), Point: 3

-20.776

예상원인 분석

01

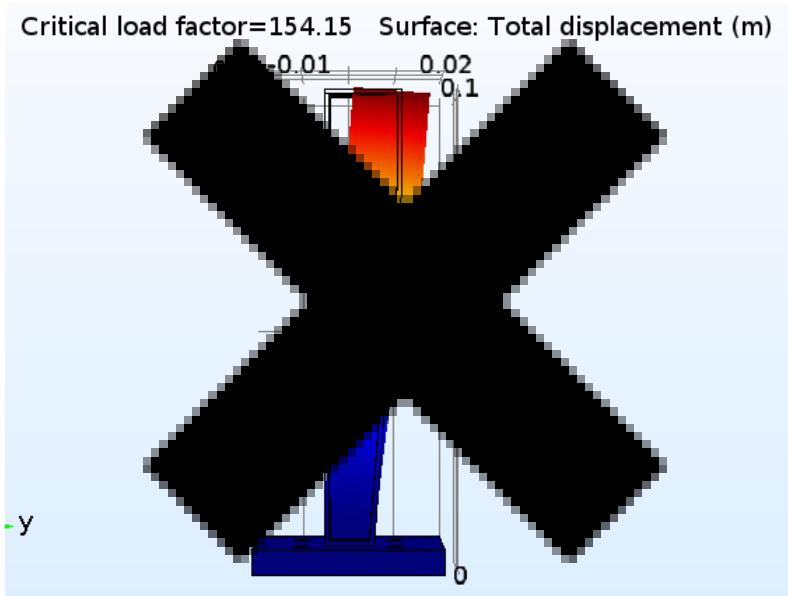
02

03

04

05

(2) Buckling



모멘트를 고려 했을 때의
Critical load factor=154.15

영향이 미미



예상원인 분석

01

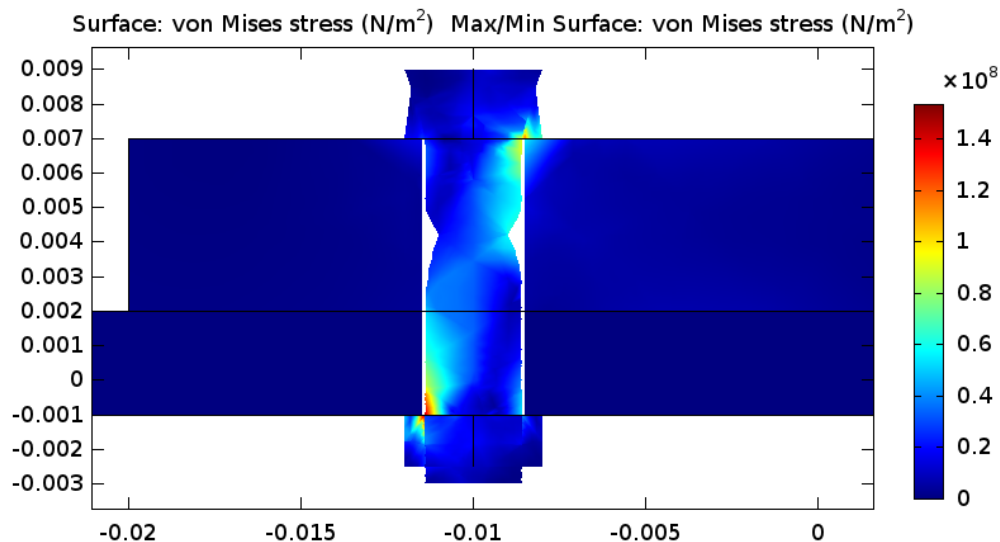
02

03

04

05

(3) Bolt failure



Safety factor

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

4.6 Class M5 bolt
 $S_y = 240 \text{ Mpa}$

Von mises stress
 $= 150 \text{ Mpa}$

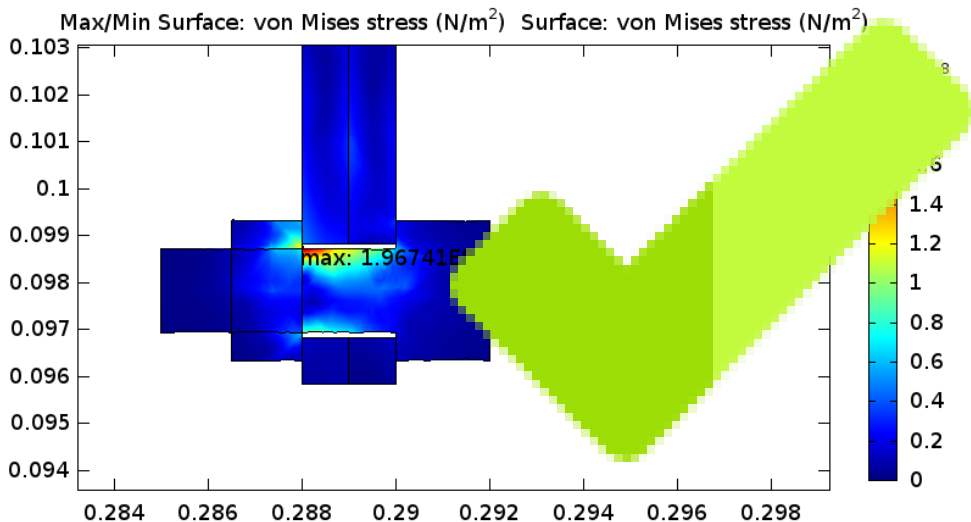
$n = 240 / 150 = 1.6$



예상원인 분석

01
02
03
04
05

(3) Bolt failure



Safety factor

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

4.6 Class M5 bolt
 $S_y = 240 \text{ Mpa}$

Von mises stress
 $= 197 \text{ Mpa}$

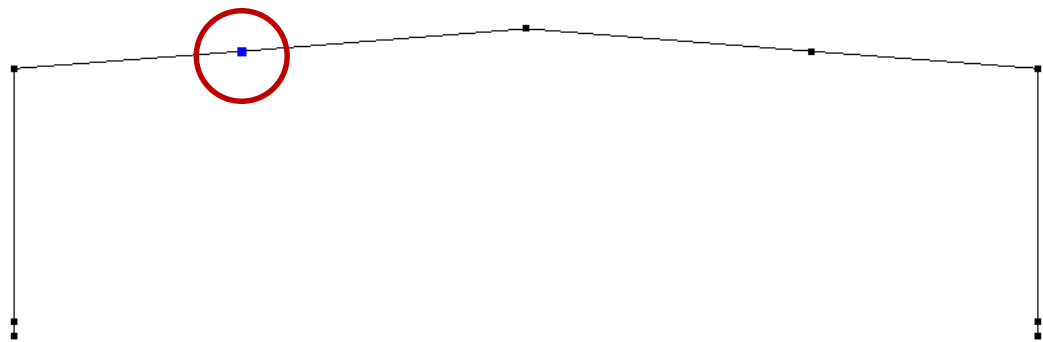
$n = 240 / 197 = 1.22$



예상원인 분석

01
02
03
04
05

(3) Bolt failure



Local axial force (N), Point: 4
-378.06

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{CP + F_i}{A_t} = 229.3\text{Mpa}$$

4.6Class M5 bolt
Sp=225Mpa

$$n_p = \frac{S_p}{\sigma_b} = 225/229=0.98$$

→ **Failure발생**

결론

01
02
03
04
05

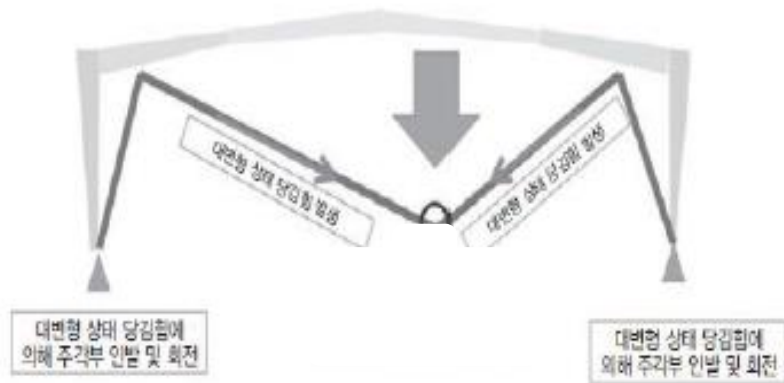
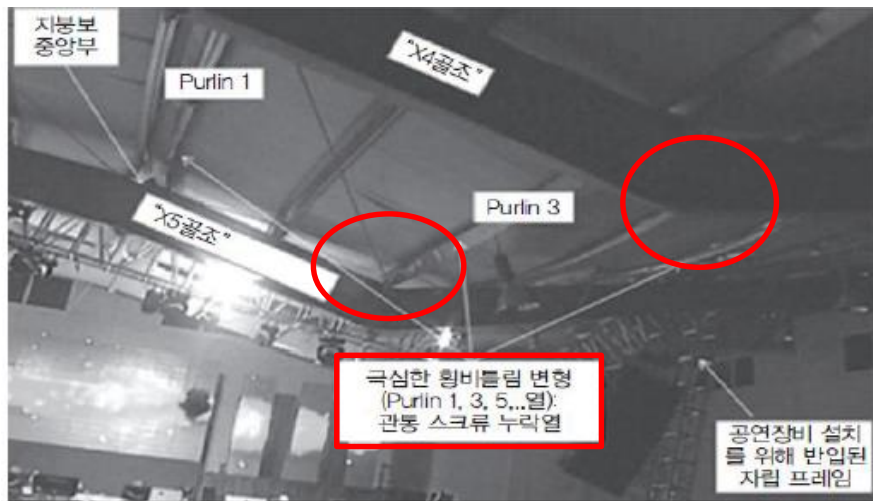


그림 3.2 붕괴동영상의 붕괴 초기의 정지사진

출처

A study on the Improvement of Building Regulations for the structural Safety of PEB - thesis.



THANK YOU