



Machine Learning

머신러닝

미래자동차공학과 윤병걸
미래자동차공학과 백승언

ISSUE MAKER



팀명 소개



머신러닝이란?



- 방대한 빅데이터들을 분석해 미래를 예측하는 기술을 일컫는다.
- 해석 자료(빅 데이터)를 가지고 런닝머신의 지지대의 위치를 최적 설계해보았다.



프로젝트 진행방향



프레임 modeling

- 해석에 필요한 하단부 Frame을 modeling
 - 2D I-Beam modeling
 - 3D Full modeling

결론 도출

- 하중에 의한 displacement와 Stress가 가장 적게 발생하는 지지대 위치를 결정

Force

Modeling

Analysis

Conclusion

하중 modeling

- 런닝머신 위에서 사람이 뛸 때, 프레임에 가해지는 충격력과 마찰력

해석(Analysis)

- 지지대 위치의 변화에 따른 영향 해석
 - Total displacement
 - Von mises - stress

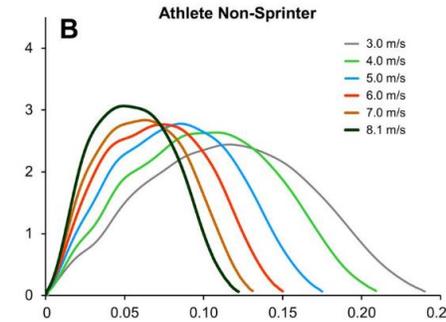
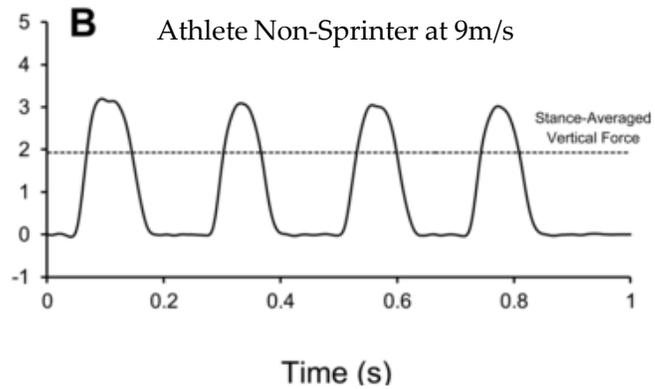
런닝머신 속력에 따른 수직 충격력

- 논문참조

Spring model predictions.

Per the methods outlined by Alexander et al. (2) and Robilliard and Wilson (32), half-sine wave formulations of the vertical ground reaction force waveforms predicted by the spring-mass model were determined from the runner's contact time (t_c), aerial time (t_{aer}), and step time ($t_{step} = t_c + t_{aer}$):

$$F(t)/W_b = \begin{cases} \left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot \left(\frac{t_{step}}{t_c}\right) \cdot \sin\left(\pi \cdot \left(\frac{t}{t_c}\right)\right), & 0 \leq t < t_c \\ 0, & t_c \leq t < t_{step} \end{cases} \quad ((Eq. 1))$$



velocity	T_c	T_air
3m/s	0.25	0.14
6m/s	0.15	0.121
9m/s	0.112	0.111

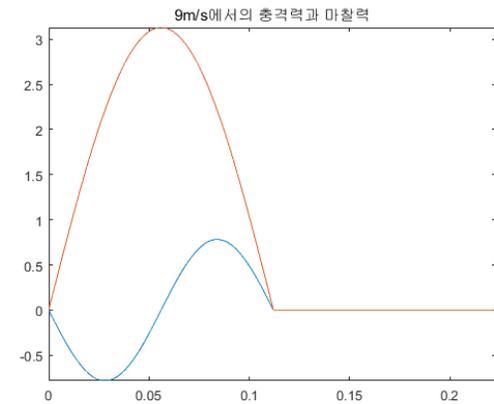
- Reference : Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics?

참고자료와 Matlab을 통한 힘의 모델링

```

1 - clc; clear all;
2 -
3 - t_c = [0.25 0.15 0.112]; t_aer = [0.14 0.121 0.111]; u_f = 0.25;
4 -
5 - for k = 1 : 3
6 -     t_step(k) = t_c(k) + t_aer(k);
7 - end
8 -
9 - t1 = 0 : 0.001 : t_step(1); t2 = 0 : 0.001 : t_step(2); t3 = 0 : 0.001 : t_step(3);
10 -
11 - for i = 0 : 1000*t_step(1)
12 -     for k = 1 : k1+1
13 -         F_ψy1(k1+i+k) = (pi/2)*(t_step(1)/t_c(1))*sin(pi*(t1(k)/t_c(1)));
14 -         F_ψx1(k1+i+k) = -u_f*(pi/3)*(t_step(1)/t_c(1))*sin(2*pi*(t1(k)/t_c(1)));
15 -         if F_ψy1(k1+i+k)<0
16 -             F_ψy1(k1+i+k) = 0;         F_ψx1(k1+i+k) = 0;
17 -         end
18 -     end
19 - end

```

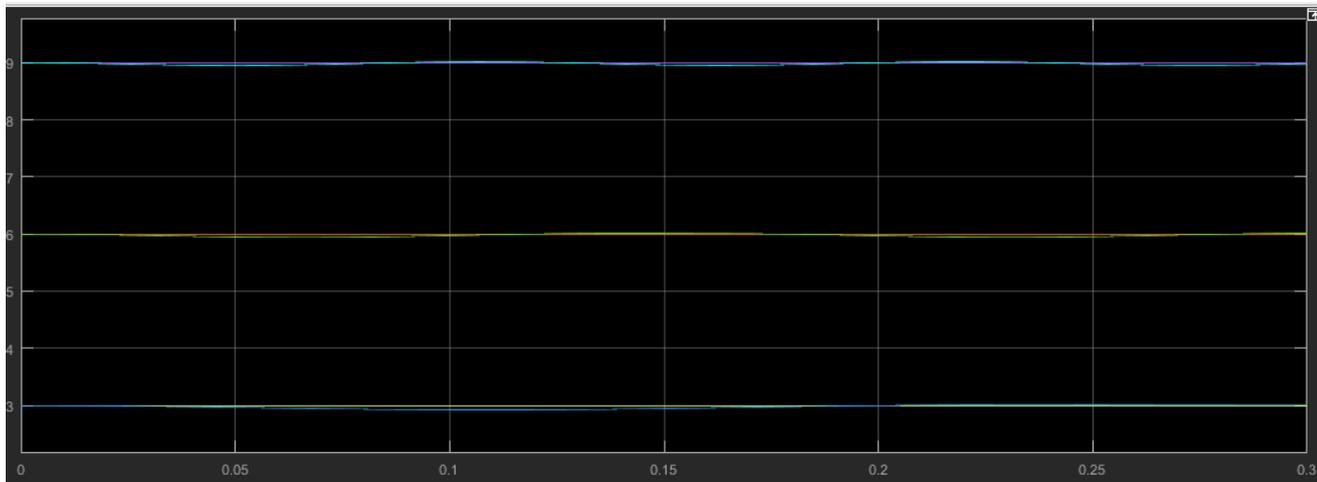
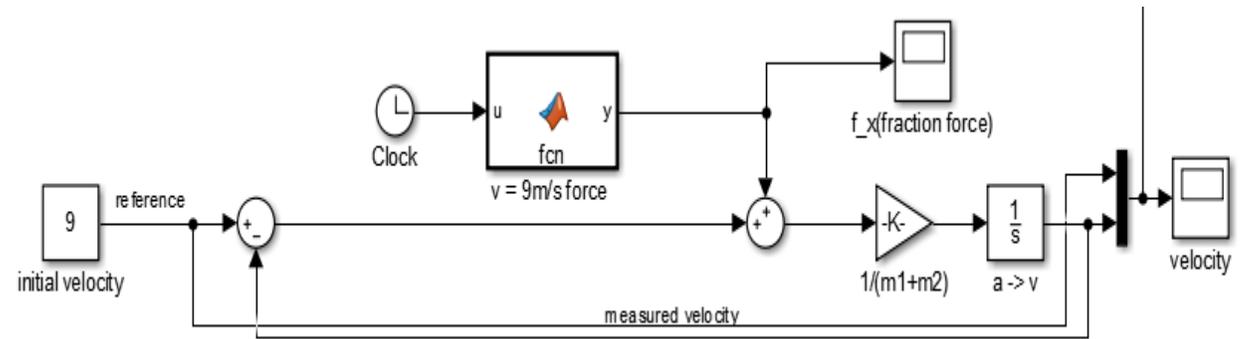
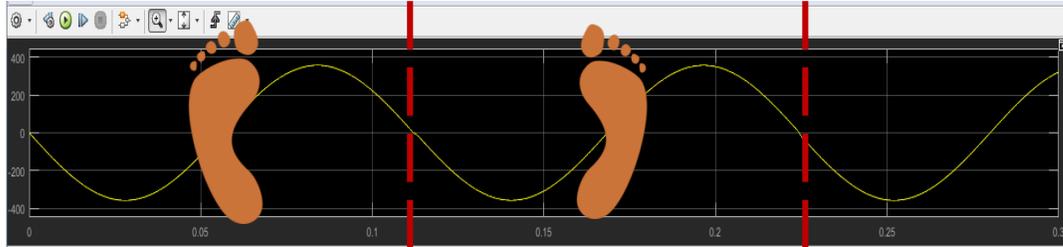


modeling

힘modeling



Simulink를 이용한 속력의 제어



마찰력의 영향으로 속도가 변화 하지만 feedback 제어를 통해 무시할 만큼 작은 값으로 유지할 수 있다.

=> 속력이 일정하다고 가정할 것이다.

modeling

Frame modeling



Frame modeling



일반 런닝머신이 아닌 육상 선수용 런닝머신 실제 모델 스펙

Motor : 7HP ,55Kg

Inverter : 5kg

최대속력 : 0~35km/h

총 질량 : 270kg

modeling

Frame modeling

Frame modeling

U.S. Patent Feb. 18, 1992 Sheet 1 of 5 5,088,729

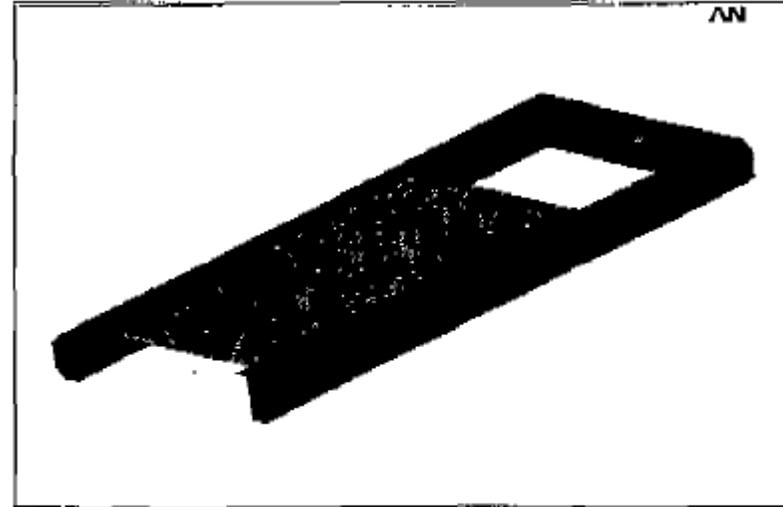
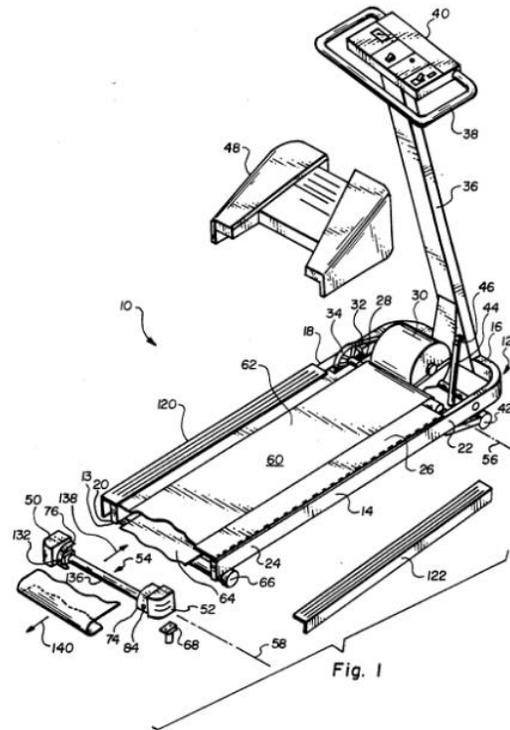
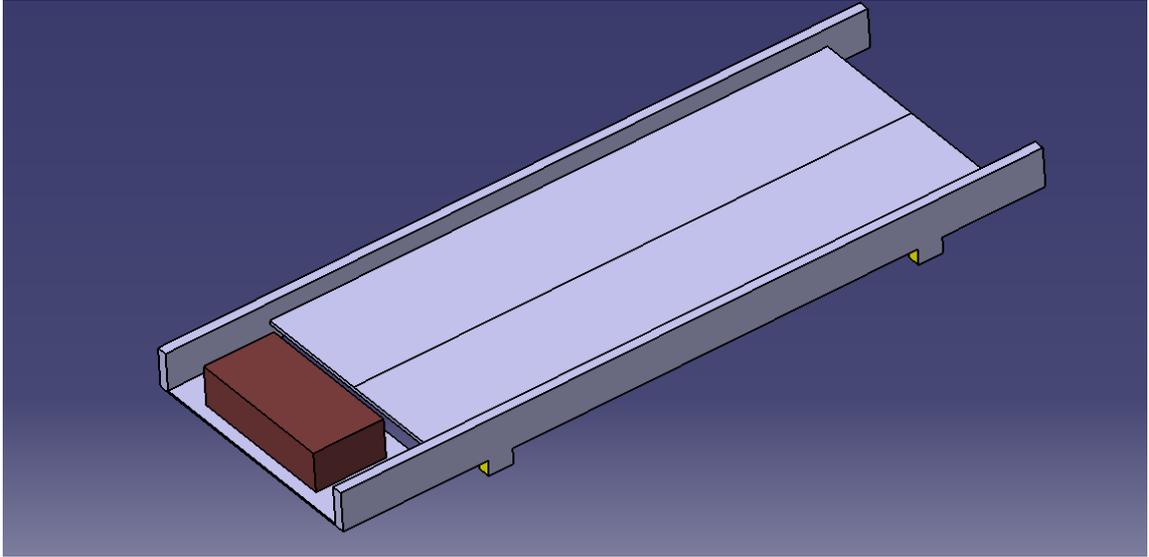
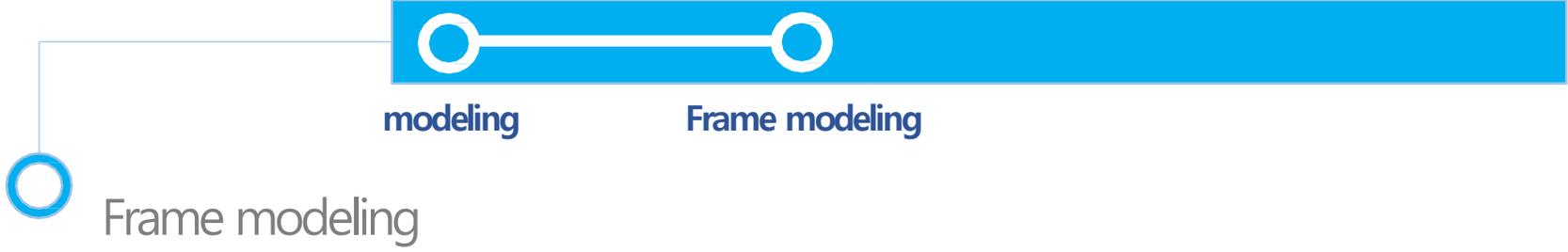


Figure 2. Finite elements of running machine frame.

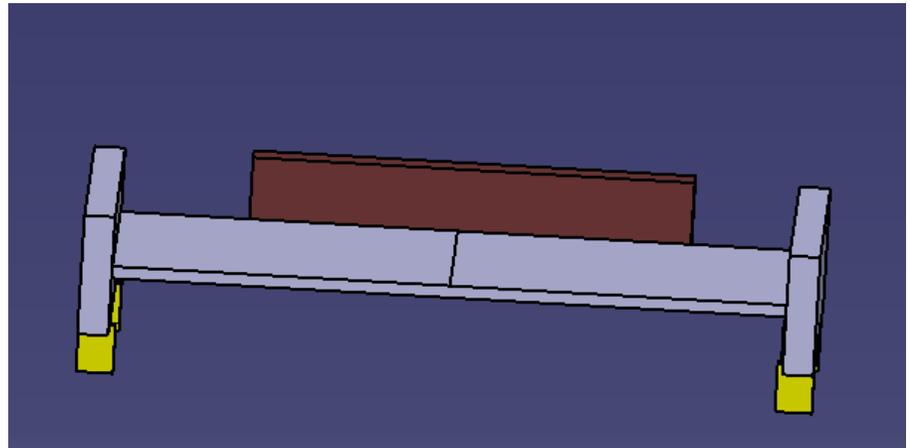
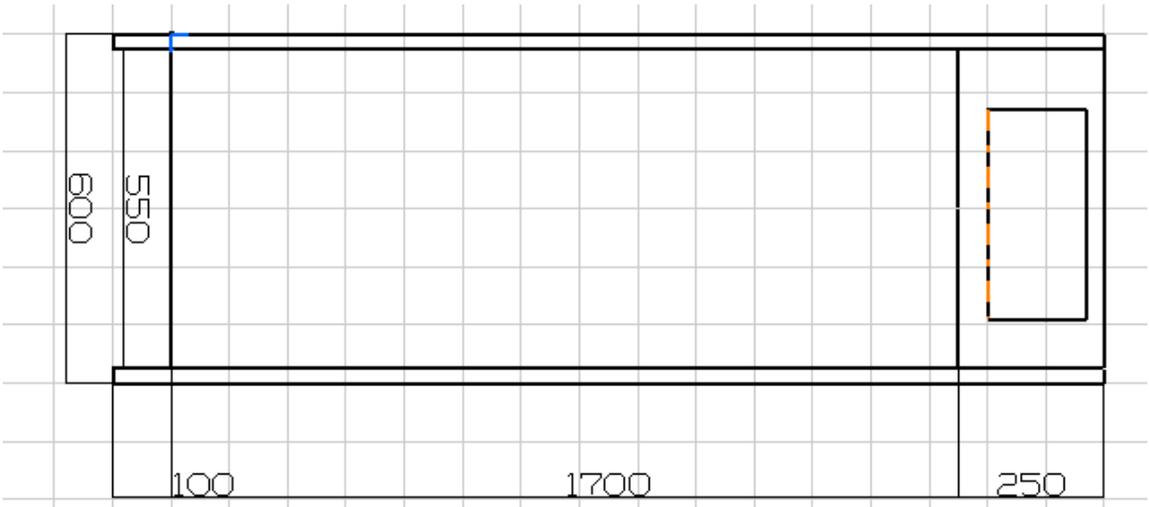
Table 1. Material properties for running machine frame

material	E (GPa)	ρ (g/cm ³)	ν
Iron	207	7.87	0.29

Reference : 이종선 김세환, "러닝머신 프레임의 구조해석", 산학 기술 성공학회논문지, pp31~35, 출판 년도 2001

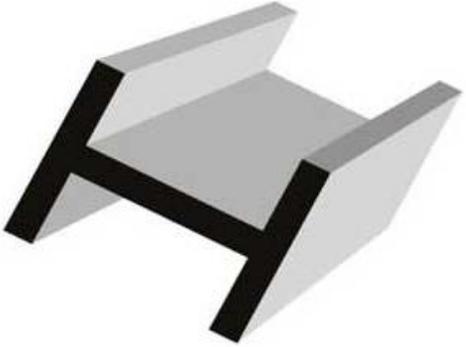


modeling한 프레임 형태의 단면이 I-beam 모형 이었다.
 이론적인 풀이를 하기 힘든 문제이므로, 3D 모델링
 을 하기 전, 2D 모델링으로 해석의 경향성을 파악했다.

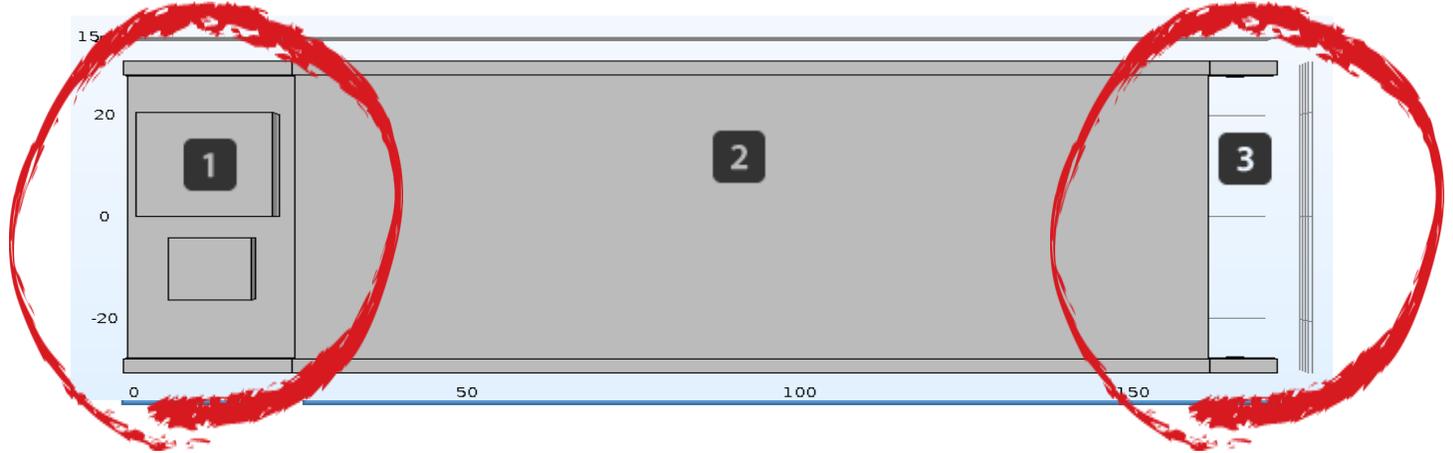
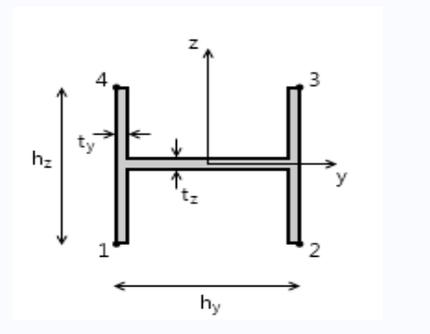




I-Beam 해석



Section type:	H-profile
Section height:	h_y 0.6
Flange width:	h_z 0.1
Flange thickness:	t_y 0.025
Web thickness:	t_z 0.02



전체 단면적 $A = 0.016m^2$ 단면적 형상 일정하기 때문에 밀도를 바꿈으로서 질량 영향을 대입하였다. $\rho V = \rho AL = m$ 재료는 iron으로 가정.

영역 **1** (with motor) : motor 질량 60kg 영향 추가 $\rho = 17459$

영역 **2** (full frame) : $\rho = 7870$ 영역 **3** (corner frame) : $\rho = \frac{5}{16} * 7870$

총 FRAME 질량 : 243.7Kg

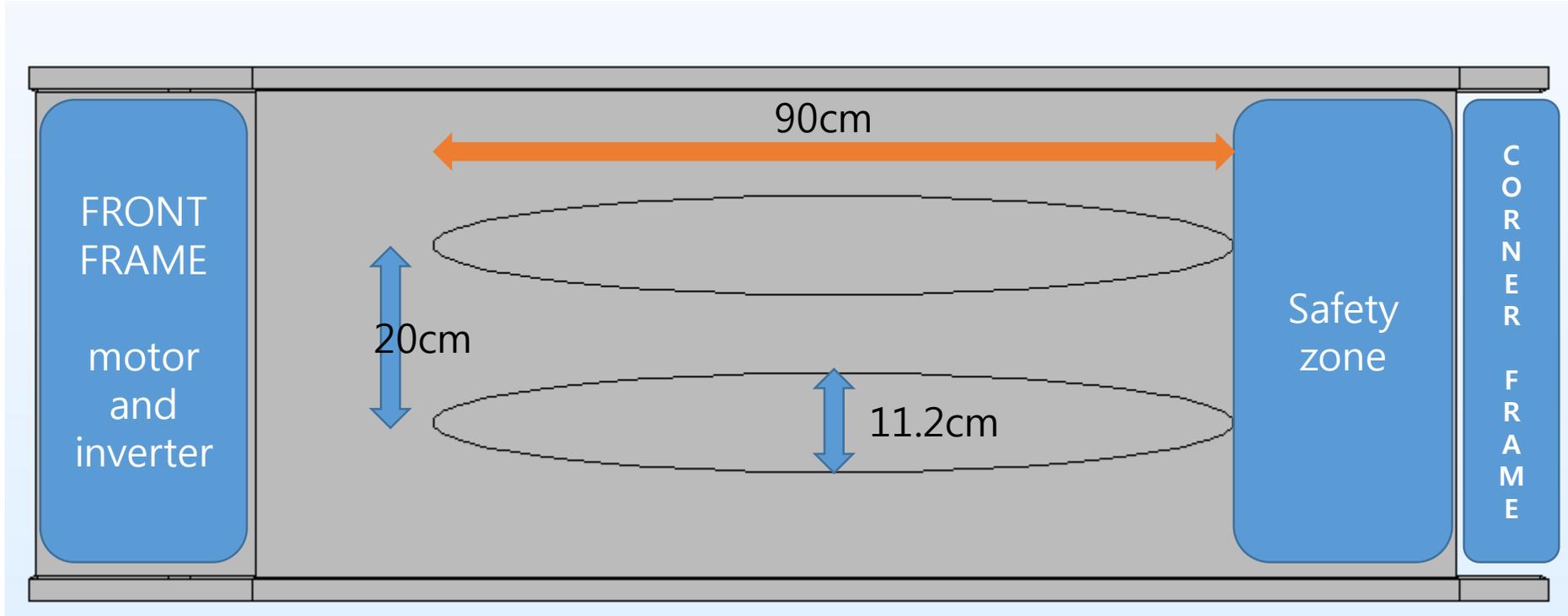


modeling

Frame modeling

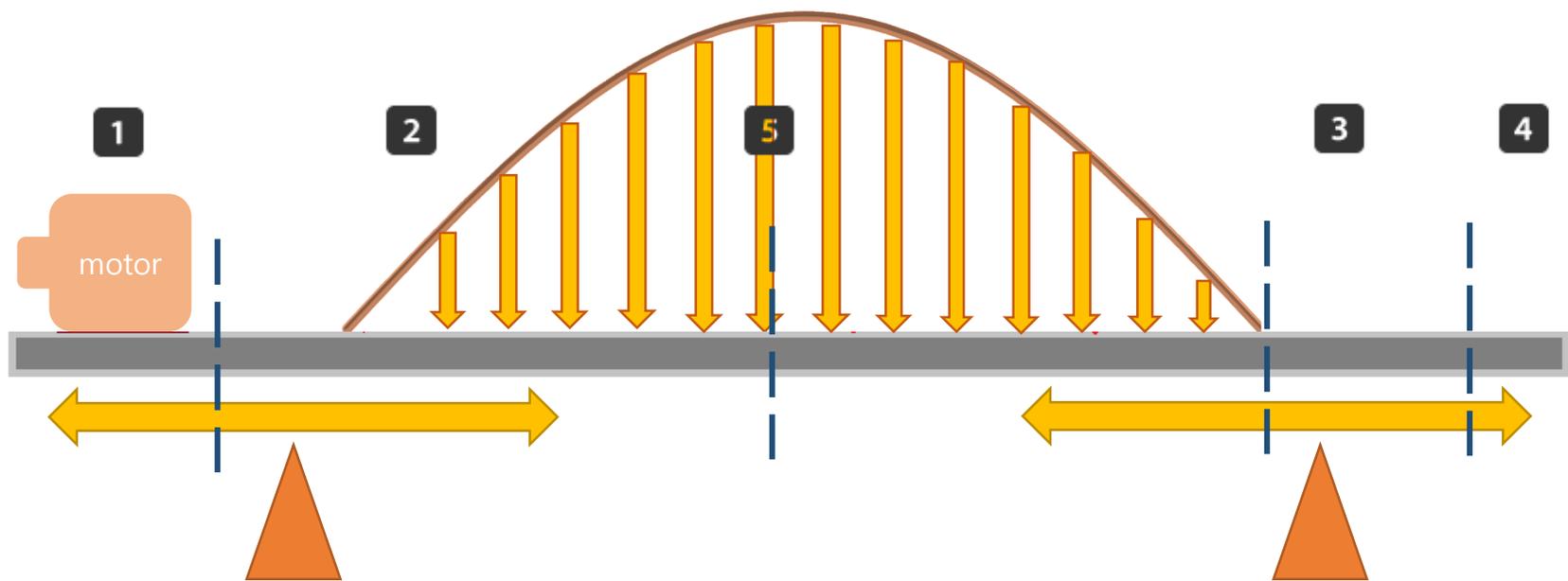
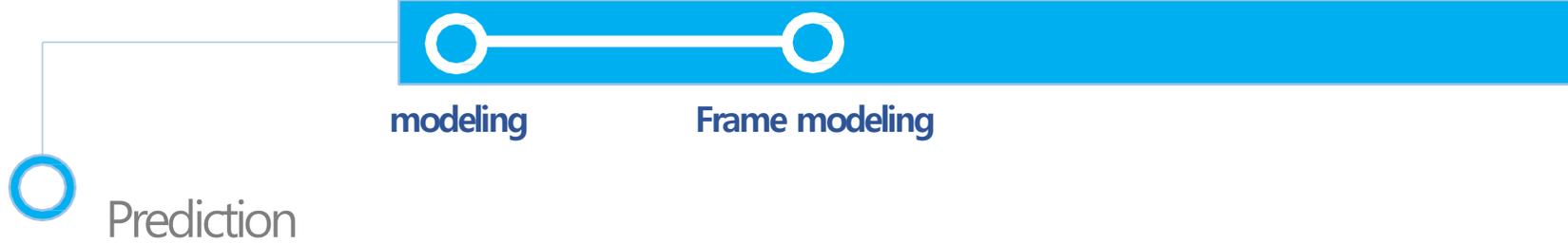


해석영역



9m/s로 속도 일정하다고 가정할 때 힘을 받는 변위 = $9\text{m/s} \times t_c(0.1\text{s}) = 90\text{cm}$

참고문헌 : size-korea 성인 평균 발 너비 및 실제 런닝화 너비.



1 모터 부분 (1~25cm)

2 런닝머신 앞부분(26~50cm)

5 힘 받는 부위(40~140cm , 90cm의 sin파 하중이 가해짐)

3 Safty zone(120~159cm)

4 Coner frame(160~169cm)



Parameter

modeling

Frame modeling

2D modeling

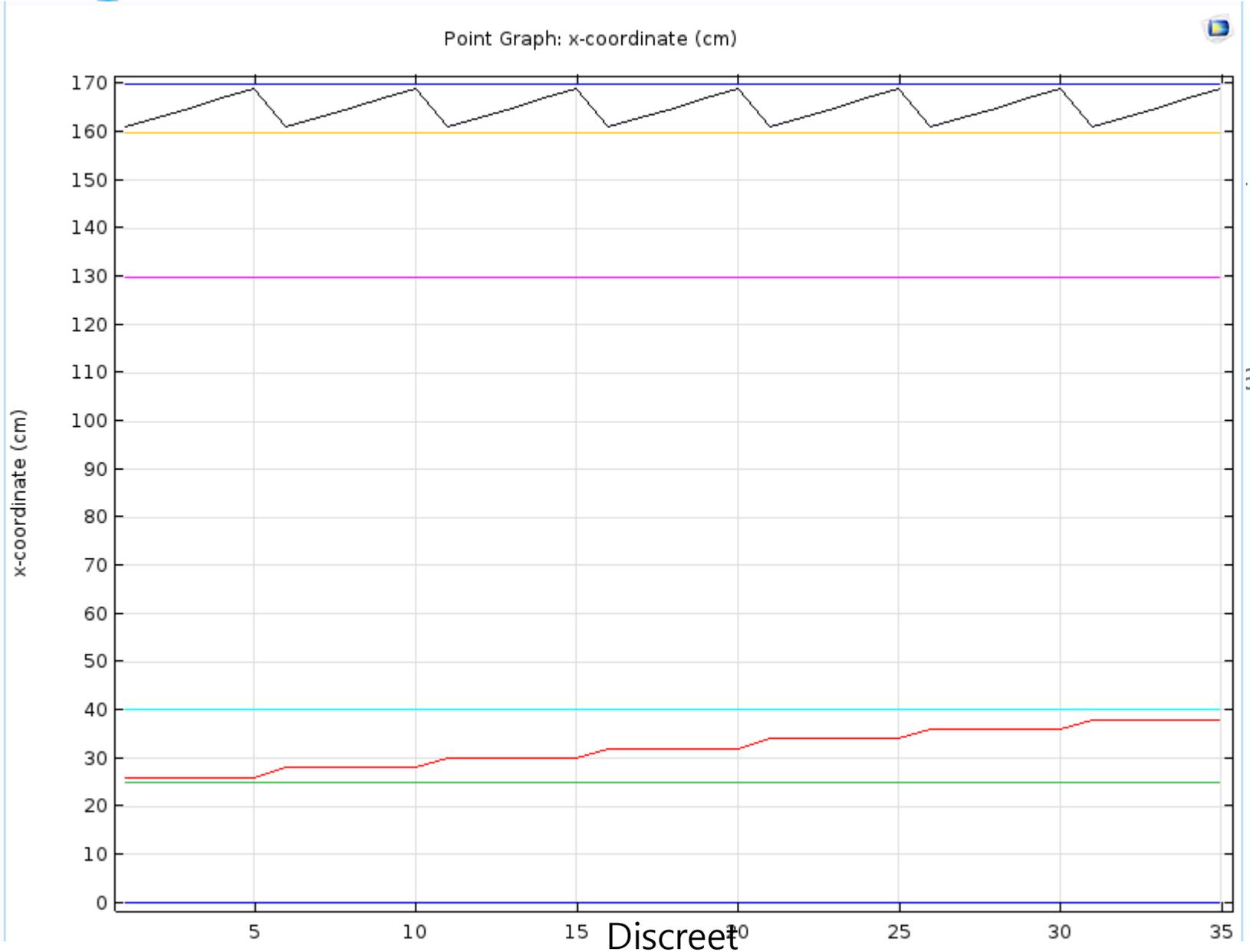
- 위치바꾸기 시험_I_beam_13_힘 변화_130이후.mph (root)
 - Global Definitions
 - Parameters
 - Materials
 - Component 1 (comp1)
 - Definitions
 - periodic9 (an9)
 - pw9 (pw9)
 - Edge Probe 1 (edge1)
 - Boundary System 1 (sys1)
 - View 1
 - Geometry 1
 - Work Plane 1 (wp1)

Name	Expression	Value	Description
x1	20[cm]	0.2 m	
x2	150[cm]	1.5 m	
m	70[kg]	70 kg	
g	9.81[m/s^2]	9.81 m/s ²	
m1	0.016*0.9*7870[kg]	113.33 kg	
t_step9	0.223[s]	0.223 s	
t_c9	0.112[s]	0.112 s	
mu	0.25	0.25	



x1 첫번째 지지대의 위치를 x2 두번째 지지대의 위치를 x2로 Parameter에 정의해줍니다.

체중 m, friction coefficient 'μ' 등의 계수를 정해줍니다.



1 3 , 1 4 , 2 3 , 2 4

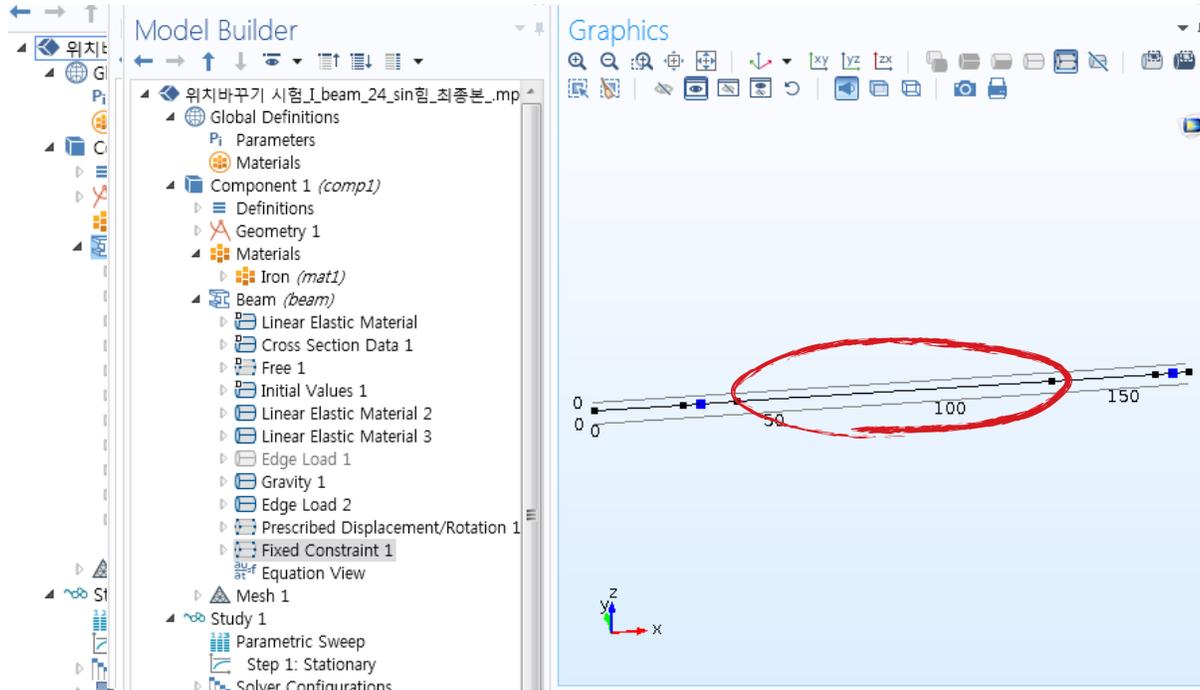
Discret	x1	x2
1	26	161
2	26	163
3	26	165
4	26	167
5	26	169

modeling

Frame modeling

2D modeling

2D – Beam – Boundary condition



1. Material을 Iron으로 정해준다.
2. 영역별로 밀도를 나누어 준다.
3. 지지대의 경우, x_1 과 x_2 를 Fixed Constraint로 정해 준다.
4. 해석 영역에 Edge load를 가한다.



modeling

Frame modeling

2D modeling

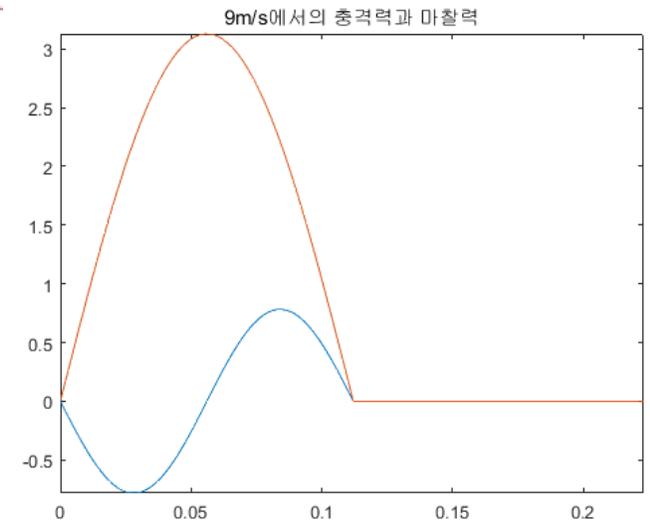
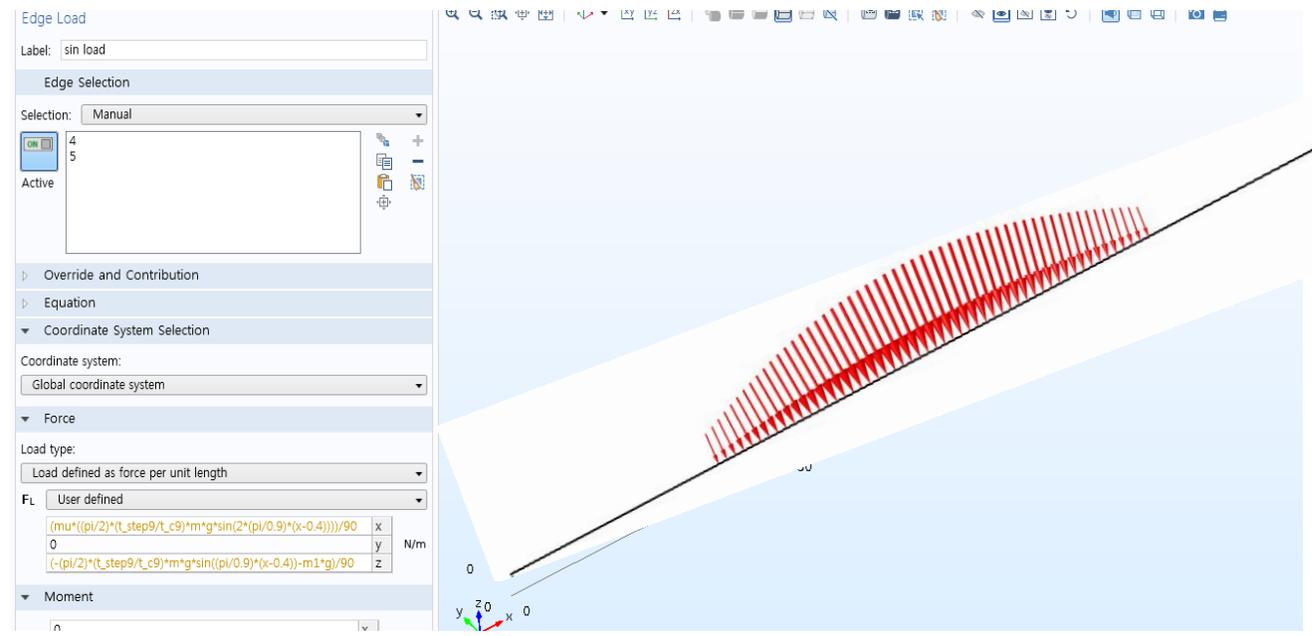


2D – Beam – Edge load

3D -> 2D

동적 해석 -> 정적 해석

간단한 모델로
경향성 파악



수직 충격력 $(-\pi/2) \cdot (t_{step9}/t_{c9}) \cdot m \cdot g \cdot \sin((\pi/0.9) \cdot (x-0.4)) - m_1 \cdot g$

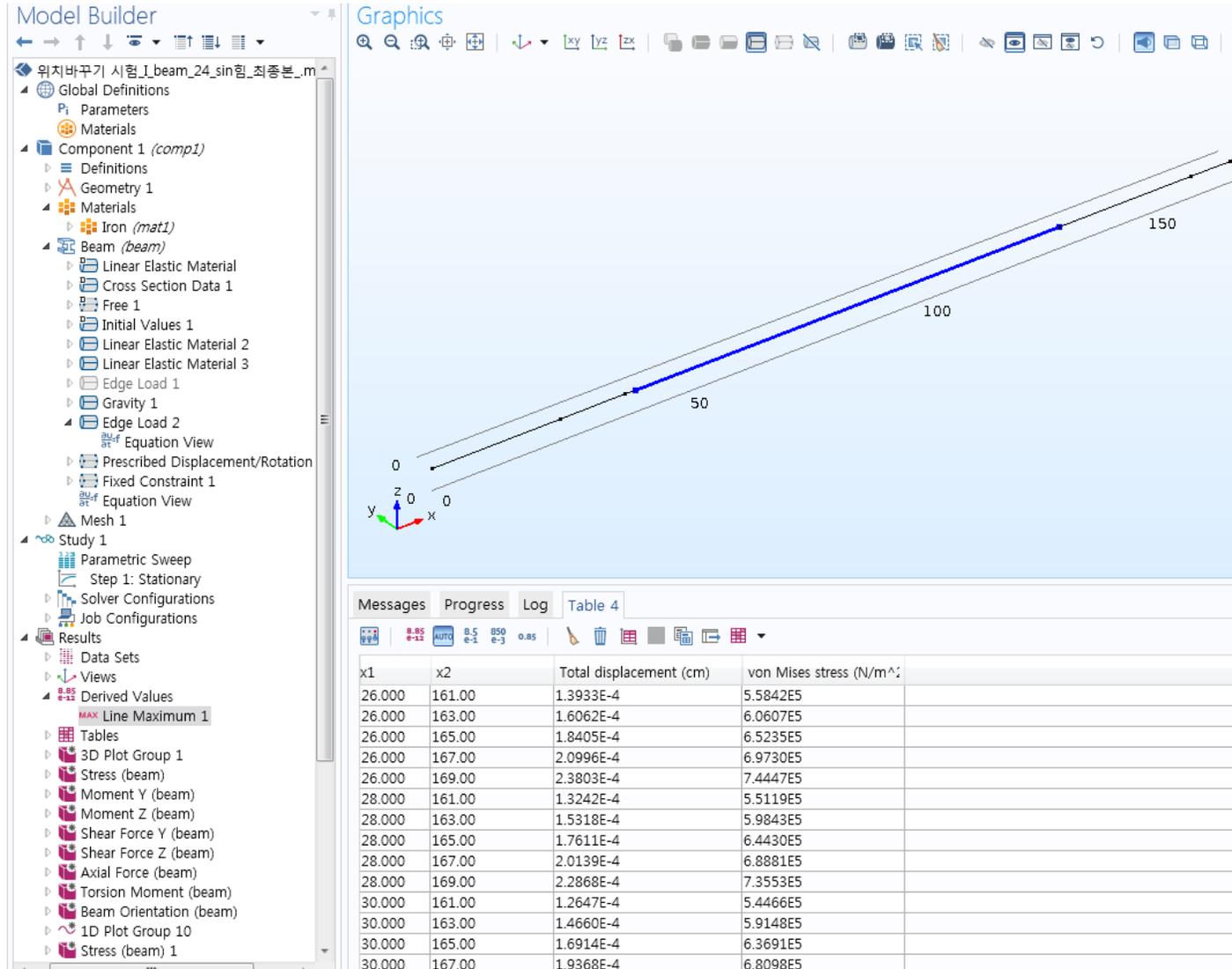
마찰력 $\mu \cdot ((\pi/2) \cdot (t_{step9}/t_{c9}) \cdot m \cdot g \cdot \sin(2 \cdot (\pi/0.9) \cdot (x-0.4)))$

modeling

Frame modeling

2D modeling

2D – Beam – Line Maximum



Line Maximum

그 Line에서 발생하는 해석 값의
최댓값을 보여주는 기능

엑셀 data 파일로 Export 가능

지지대 위치 별 최대 변위, 스트
레스 구하기 가능!

해석

2D modeling

지지대 위치

2D - Beam해석 시 최적 지지대 위치

$$\text{Optimal} = \min(\max(\text{변위}) \times \max(\text{응력}))$$

A	B	C	D	E	
x1	x2	vonmises...	displacem...	optimal	
NUMBER	NUMBER	NUMBER	NUMBER	NUMBER	
1	x1	x2	vonmises...	displacem...	optimal
2	16	148	392632.353	8.32E-05	32.667011...
3	19	154	558107.45...	1.39E-04	77.576936...
4	13	145	412164.49...	2.26E-04	93.149176...
5	16	151	394564.80...	2.50E-04	98.641202...
6	19	151	558107.45...	1.98E-04	110.50527...
7	16	145	412164.49...	2.80E-04	115.40605...
8	13	148	328412.25...	4.01E-04	131.69331...
9	19	148	558107.45...	2.63E-04	146.78226...
10	16	154	396470.52...	4.58E-04	181.58350...
11	13	142	521774.34...	3.59E-04	187.31699...
12	19	157	558107.45...	3.36E-04	187.52410...
13	10	142	522930.166	3.82E-04	199.75932...
14	13	151	363654.91...	6.06E-04	220.37487...
15	19	145	558107.45...	4.27E-04	238.31188...
16	16	157	398346.87...	6.83E-04	272.07091...
17	16	142	520713.00...	5.23E-04	272.33289...
18	22	157	748809.26...	3.70E-04	277.05942...
19	10	145	506251.55...	5.60E-04	283.50086...
20	10	139	658260.55...	4.63E-04	304.77463...

```

1 clc;
2 optimal = displacement.*vonmisesstress;
3 n = length(x1);
4 min = min(optimal);
5 for i = 1 : n
6     if optimal(i) == min
7         k = i;
8     end
9 end
10 position_x1 = x1(k);
11 position_x2 = x2(k);
  
```

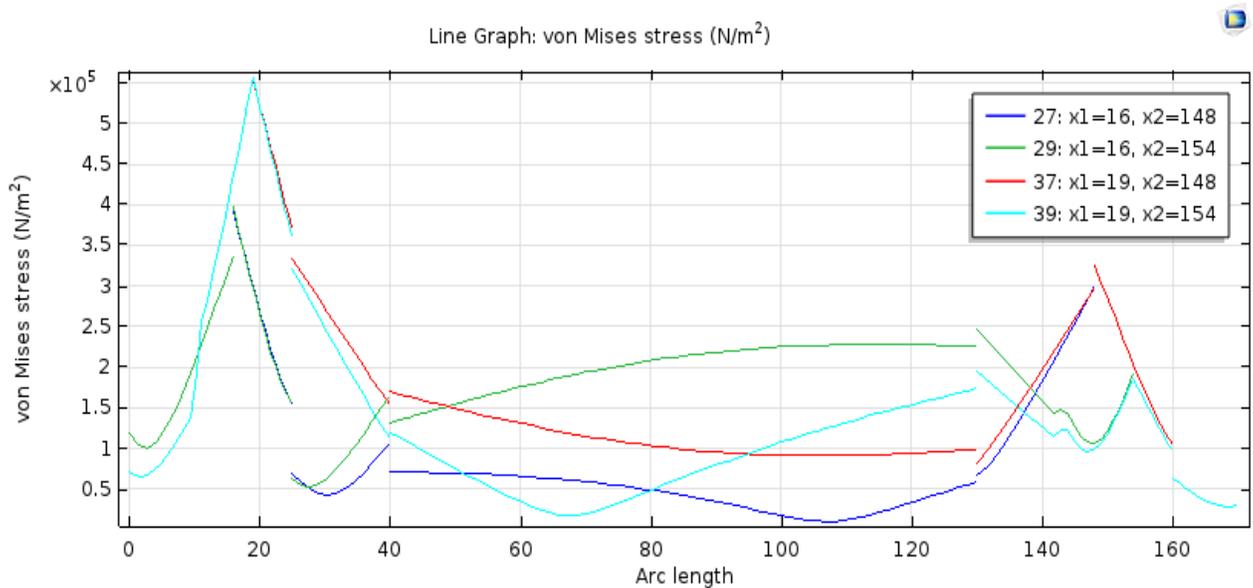
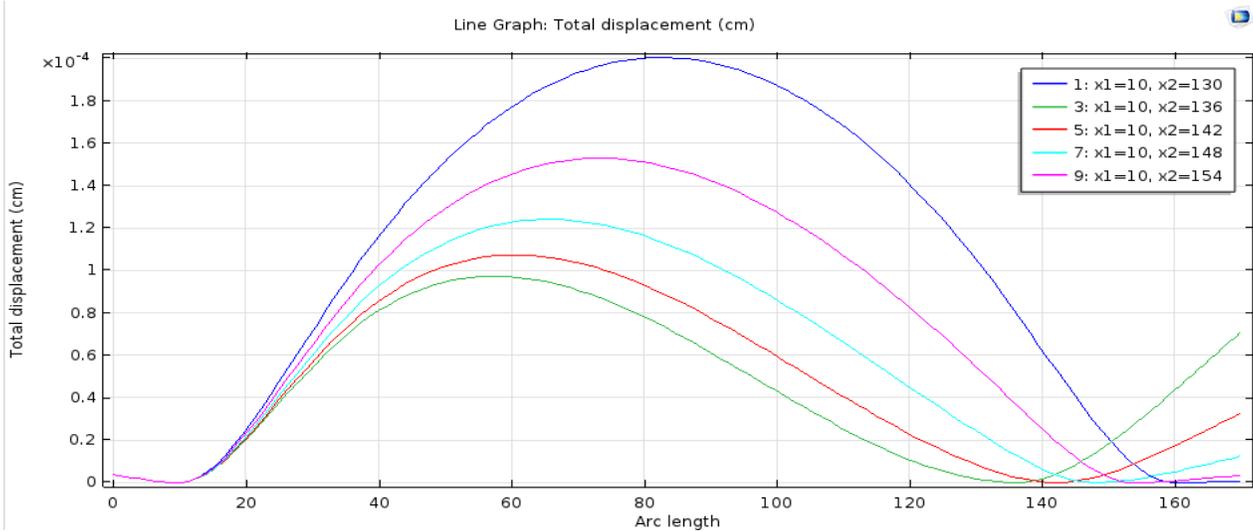
영역	x1	x2	Max displacement (cm)	Max Vonmisse-stress (N/m^2)	Optimal	RANK
① ③	13	142	0.0001025	521774	53.47	3
	19	151	0.0001013	553506	56.07	
	16	145	0.0001391	404539	56.27	
① ④	24	161	0.00011043	512671	56.613	4
	23	161	0.00011368	516097	58.671	
	22	161	0.00011717	519791	60.902	
② ③	52	149	0.0000235	299716	7.054	1
	50	149	0.0000246	298715	7.37	
					7.174	
					41.67	
					42.96	
					44.40	2



최적 설계 결과 도출을 통해 ②③영역 에서 가장 작은 변위 변화와 stress 가 생기는 것을 예측할 수 있었다.



I-Beam modeling의 한계



한계



1. 실제 지지대와 fixed constraint의 차이
2. 하중 변화로 인한 stress의 불연속
3. 밀도의 변화로 인한 stress의 불연속

But

정확한 이론 값이 없는 문제에서, 경향성을 얻어냈다는 큰 수확



3D-full 모델링과 비교를 통해 검증!!

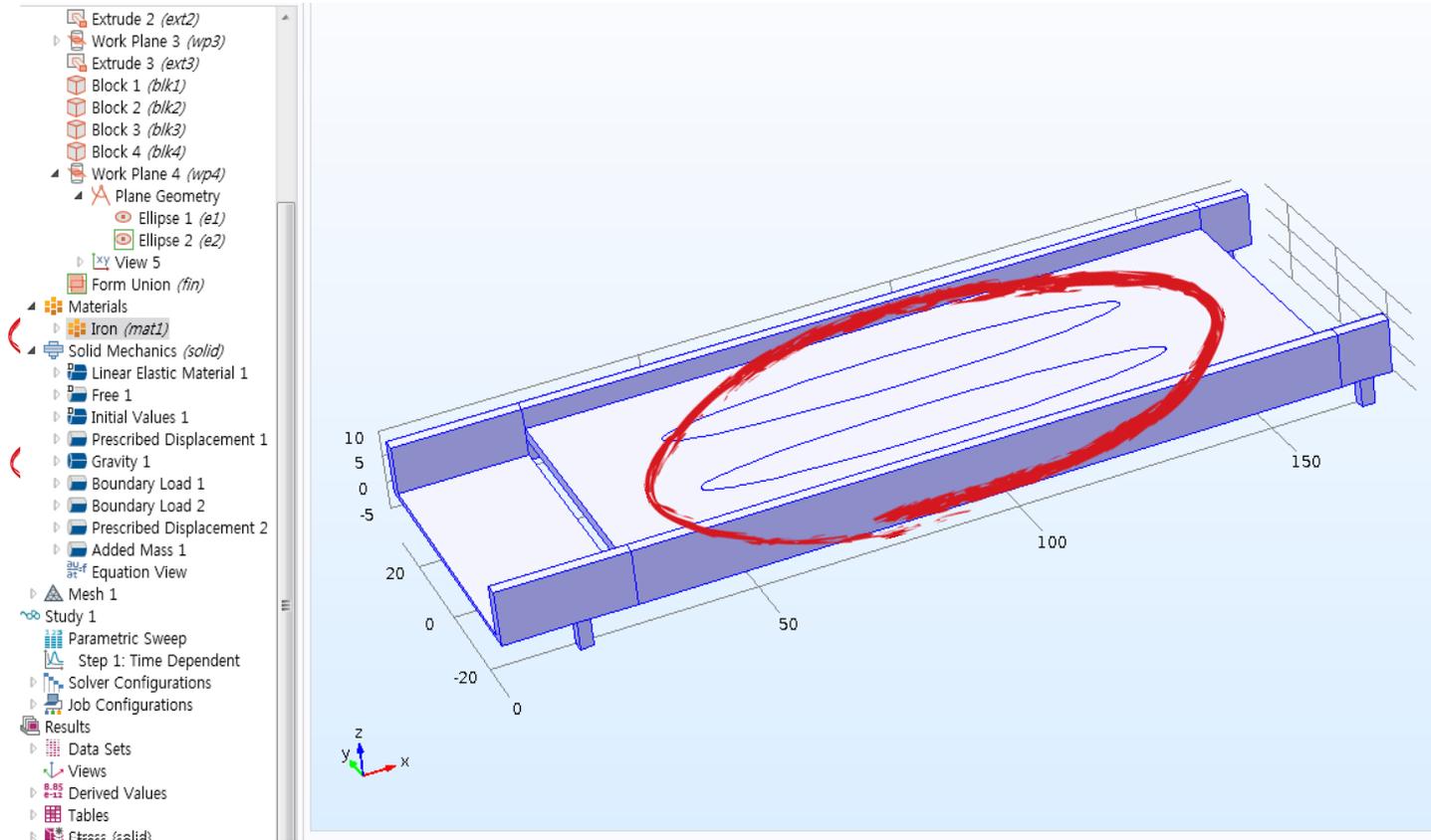


해석

3D modeling

설계 변수 & 경계 조건

3D modeling – Parameter & Boundary condition



1. 지지대의 위치를 x_1 과 x_2 (설계 변수)를 parameter에 정의해준다.
2. Material을 Iron으로 정해준다.
3. 전체 모델에 Gravity를 가한다.
4. 해석 영역을 modeling한다.



해석



3D modeling

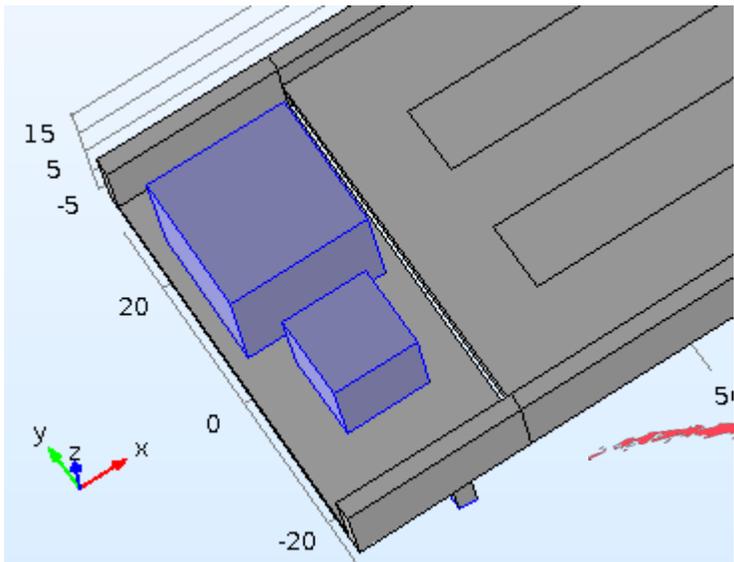


Add mass

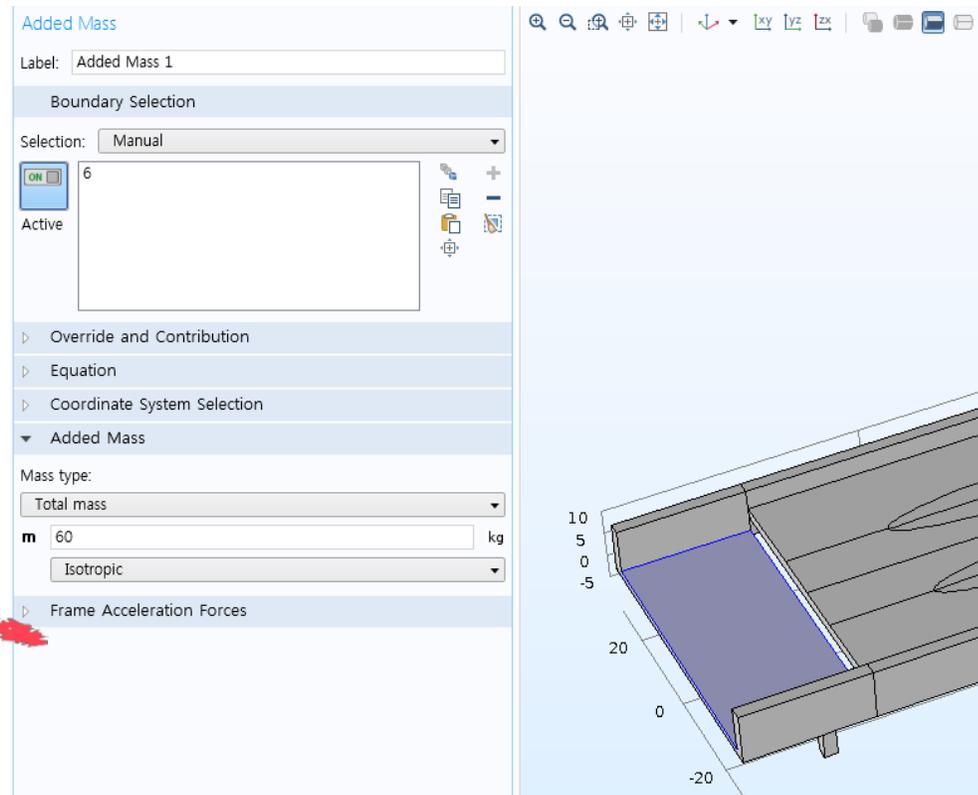


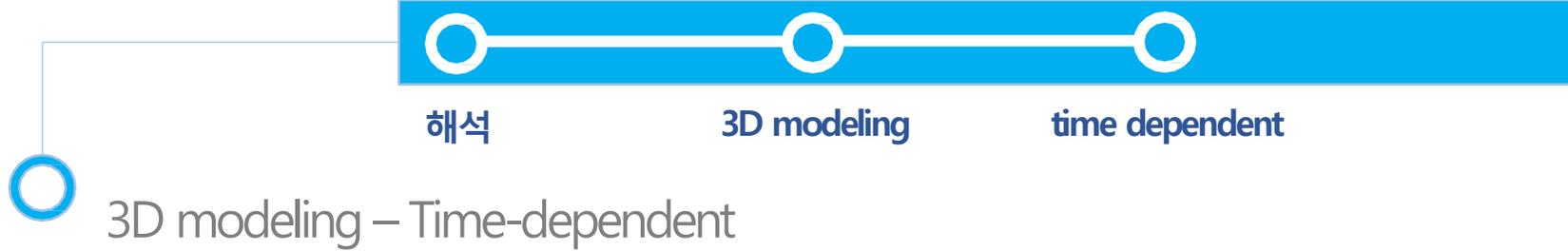
3D modeling – Add mass

구동 부를 Add mass 기능을 이용하여 형상의 간략화

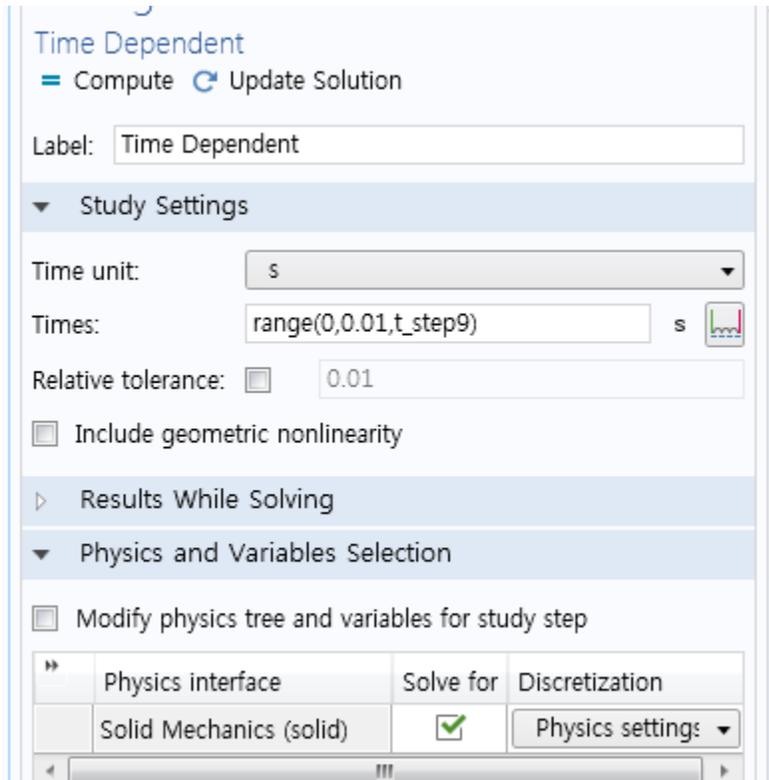


DOF를 10%정도 줄일 수 있었다!



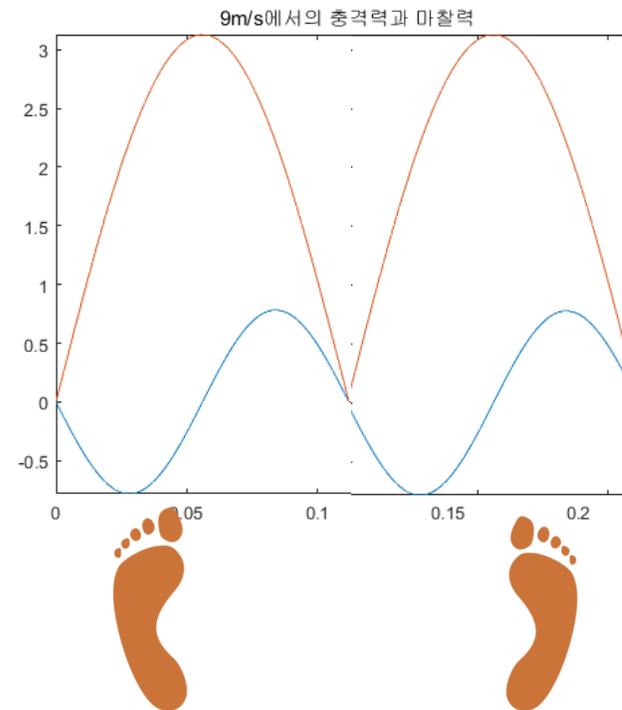


- Time-dependent



2D model의 경우 정적 해석을 했으나, 실제 모델은 동적 해석을 해야함.

계산량을 줄이기 위하여 한 주기의 힘이 작용하는 시간만을 해석하였다.





해석

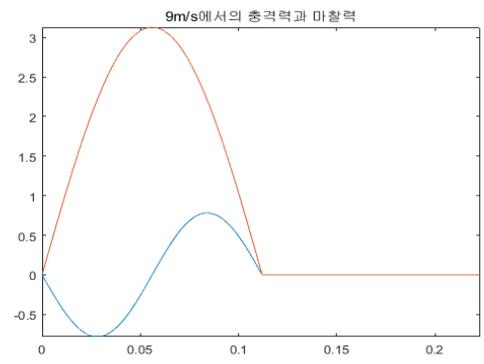
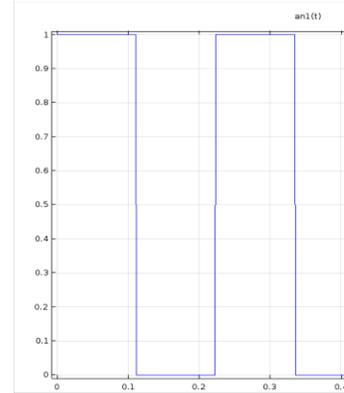
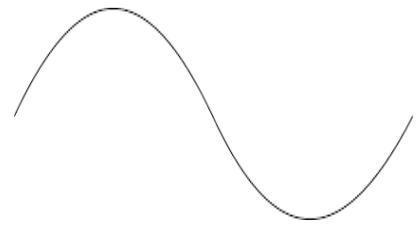
3D modeling

Boundary Load



3D modeling – Boundary Load

1



Coordinate system:
Global coordinate system

Force

Load type:
Load defined as force per unit area

F_A User defined

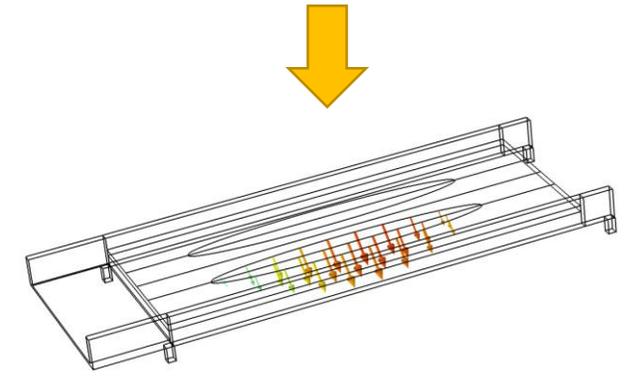
$(\mu * (\pi/2) * (t_step9/t_c9) * m * g * \sin((2\pi/0.9) * (x - 0.45))) * an1(t)$	x
0	y
$(-\pi/2) * (t_step9/t_c9) * m * g * \sin((\pi/0.9) * (x - 0.45)) * an1(t)$	z

N/m²

- 3D_14.mph (root)
 - Global Definitions
 - Parameters
 - Materials
 - Component 1 (comp1)
 - Definitions
 - periodic(t_c/t_air) (an1)
 - Piecewise 1 (pw1)
 - Global Variable Probe

수직 충격력 $(\mu * (\pi/2) * (t_step9/t_c9) * m * g * \sin((2\pi/0.9) * (x - 0.45)) * an1(t))$

마찰력 $(\pi/2) * (t_step9/t_c9) * m * g * \sin((\pi/0.9) * (x - 0.45)) * an1(t)$





해석

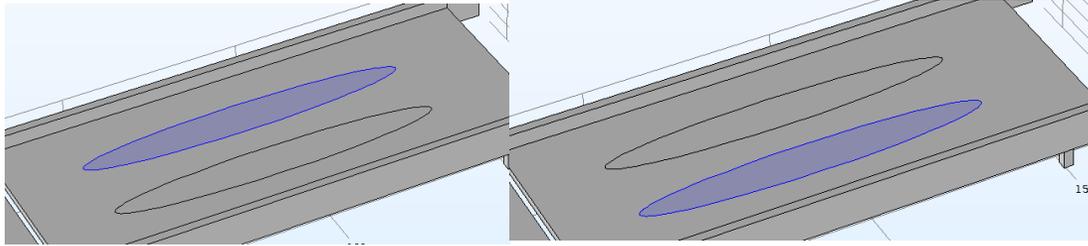
3D modeling

Boundary Load



3D modeling – Boundary Load

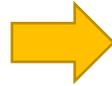
2



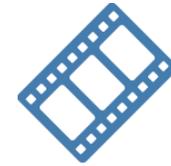
9m/s 일 때 왼발 /오른발이 한번씩 작용했을 때 (한주기) 프레임 변화를 측정하였다.

$$(\mu * (\pi/2) * (t_step9/t_c9) * m * g * \sin((2\pi/0.9) * (x-0.45)) * an1(t))$$

$$(\pi/2) * (t_step9/t_c9) * m * g * \sin((\pi/0.9) * (x-0.45)) * an1(t)$$



t를 $t + t_step9/2$ 로 교체



3

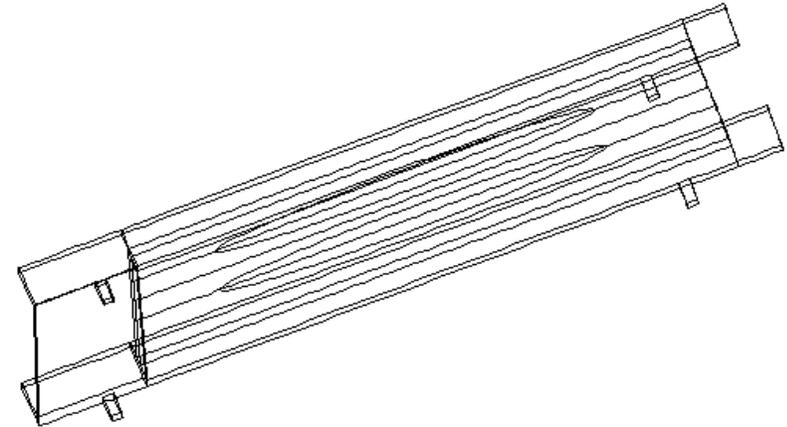
$$(-(\pi/2) * (t_step9/t_c9) * m * g * \sin((\pi/0.9) * (x-0.45)) * an1(t)) * (x < 0.45 + (90/11) * t) -$$

$$(-(\pi/2) * (t_step9/t_c9) * m * g * \sin((\pi/0.9) * (x-0.45)) * an1(t)) * (x < 0.15 + (90/11) * t)$$



```

Fgraph.m x  Untitled* x  +
1   if (0.15+(90/11)*t < x < 0.45+(90/11)*t)
2       힘을 가한다
3   end
  
```



해석

3D modeling

지지대 위치

3D modeling – Optimization

$$\text{Optimal} = \min(\max(\text{변위}(T_step9)) \times \max(\text{응력}(T_step9)))$$

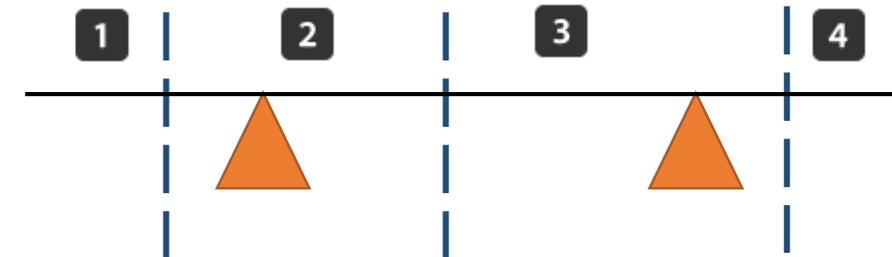
NUMBER	x1	x2	t	displaceme...	vonmisesst...
1	x1	x2	t	displaceme...	vonmisesst...
2	14	161	0	1.42E-10	69.003751...
3	14	161	0.01	0.0055082...	1.46E+07
4	14	161	0.02	0.0084562...	2.16E+07
5	14	161	0.03	0.0021705...	7380745.4...
6	14	161	0.04	0.0059949...	1.56E+07
7	14	161	0.05	0.0078793...	2.03E+07
8	14	161	0.06	0.00207482	1.11E+07
9	14	161	0.07	0.0059781...	1.58E+07
10	14	161	0.08	0.0085517...	2.17E+07
11	14	161	0.09	0.0022650...	6800242.1...
12	14	161	0.1	0.0065576...	1.71E+07
13	14	161	0.11	0.0071843...	1.87E+07
14	14	161	0.12	0.0016062...	5530225.6...
15	14	161	0.13	0.0070618...	1.81E+07
16	14	161	0.14	0.0069158...	1.81E+07
17	14	161	0.15	0.0027504...	1.10E+07
18	14	161	0.16	0.0064914...	1.69E+07
19	14	161	0.17	0.0069325...	1.76E+07
20	14	161	0.18	0.00250113	6991144.5...

```

1 clc;
2 n = length(x1);
3 for j = 1 : n/23
4     k = (j-1)*23;
5     for i = 1 : 23
6         partial_stress(i,j) = vonmisesstress(k+i);
7         partial_displacement(i,j) = displacement(k+i);
8     end
9 end
10 for i = 1 : n/23
11     max_stress(i) = max(partial_stress(:,i));
12     max_displacement(i) = max(partial_displacement(:,i));
13 end
14 optimal = (max_stress.*max_displacement)';
15 ops = optimal';
16 optimal2 = sort(optimal,'ascend');
17
18 for i = 1:n/23
19     if optimal(i)==optimal2(1)
20         ll = 23*i;
21     end
22     i
23 e
24 if
25
26

```

영역	x1	x2	Max displacement (cm)	Max Vonmisse-stress (N/m^2)	Optimal	RANK
① ③	21	140	0.0053	10798000	57400	2
	19	140	0.0053	10911000	57900	
	21	142	0.0053	11014000	58010	
① ④	22	167	0.0086	11700000	100050	4
	22	165	0.0085	12700000	108400	
	22	163	0.0088	12300000	108780	
② ③	40	142	0.0033	7123000	23247	1
	40	144	0.0032	7281600	23739	
	38	142	0.0033	7259100	24146	
				9613000	62535	3
				9937000	68867	
				1010000	70681	

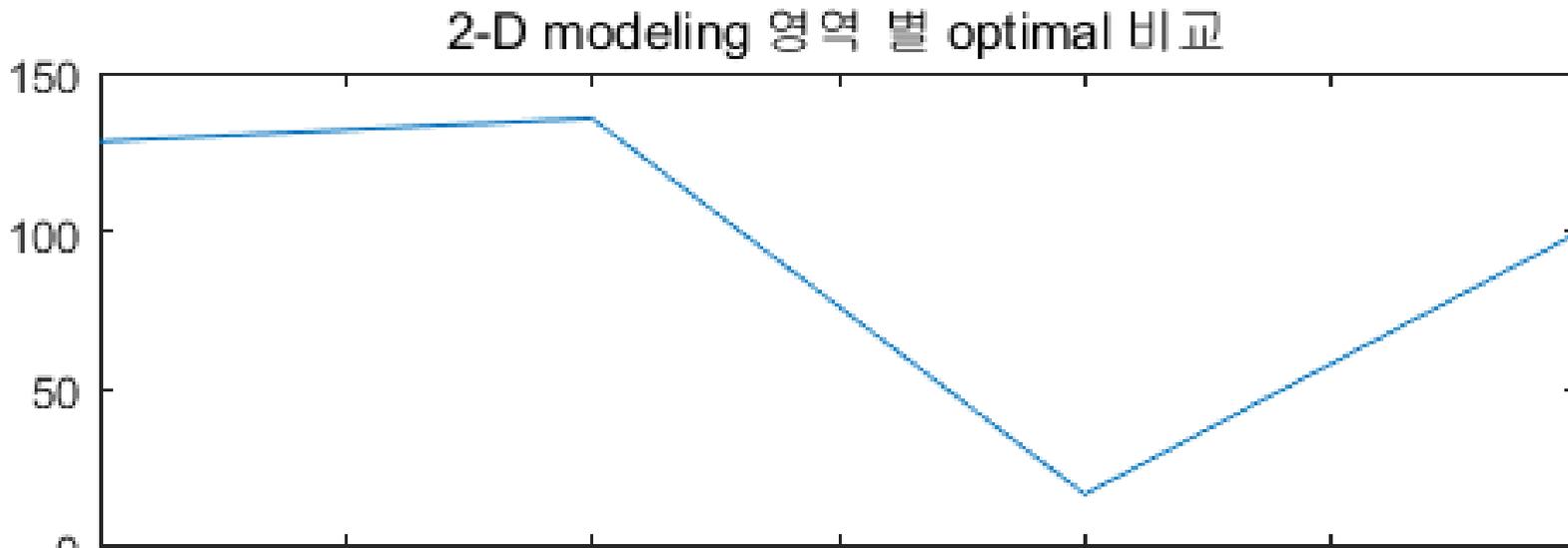


2D I-Beam 해석 때와 같이, ②③영역 에서 가장 작은 변위 변화와 stress 가 생기는 것을 예측할 수 있었다.

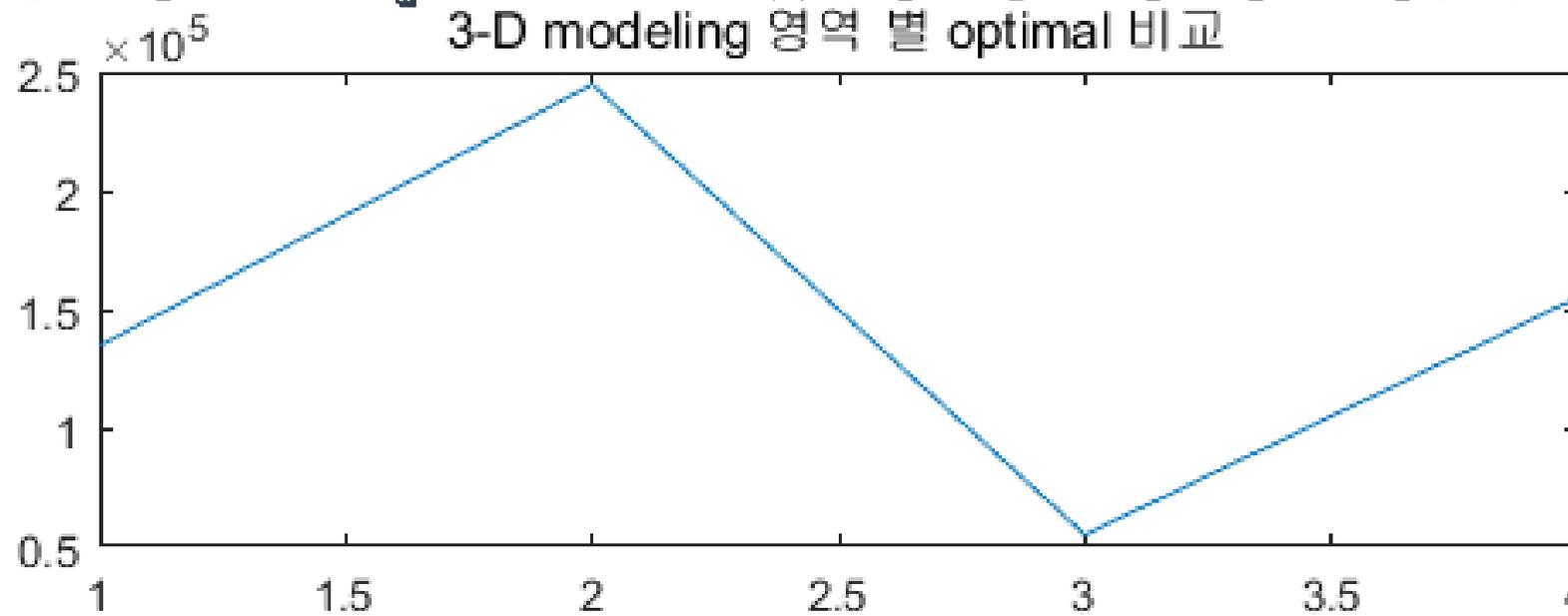


2D

영역	x1	x2
①③	13	14
	19	15
	16	14
①④	24	16
	23	16
	22	16
②③	52	14
	50	14
	48	14
②④	38	16
	36	16
	34	16



영역별 optimal값의 차이가 비슷하다.



과

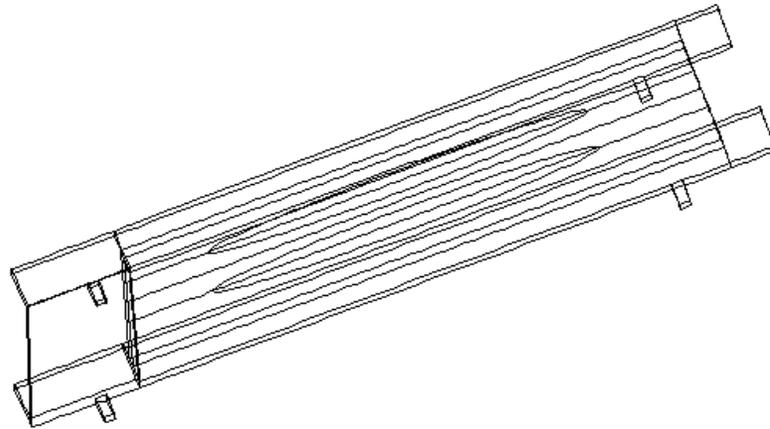
optimal	RANK
7400	2
7900	
8010	
10050	4
108400	
108780	
3247	1
3739	
4146	
2535	3
8867	
10681	



1. Exel으로 export한 data와 matlab을 이용하여 3-D model에서 학부 수준 최적설계에 성공 했다고 생각한다.
2. 낮은 차원의 model을 수학적으로 잘 modeling하면 정확한 값은 얻지 못하지만 경향성을 알 수 있다. Un-constraint 문제를 해결할 때 도움이 될 것 같다.
3. 결국 2-D modeling을 잘 설계하면 Computing 범위를 줄여서, 시간과 노력을 절약할 수 있다.



Thank you for listening





저희는 시간상 넣지는 못 하였지만, 맨 처음 2D-model에서 1차 분포 하중을 주고 경향성을 파악하려고 한 자료가 있습니다.