Body Bending Stiffness 해석

Computational Design Laboratory Department of Automotive Engineering Hanyang University, Seoul, Korea



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.



• 예제 문제

Body bending stiffness analysis

- 해석 프로세스
 - ▶ 기하형상 생성
 ▶ 재료 물성 및 특성 입력
 ▶ 요소망 생성
 ▶ 구속조건 설정
 ▶ 하중조건 설정
 ▶ 해석케이스 정의 및 해석 실행
 ▶ 후처리

예제: BODY BENDING (1)

- Focus on side frame due to its dominant effect
 - Basic beam finite element model
 - Bending stiffness: ratio of applied load to deflection at the node of load application



예제: BODY BENDING (2)

- F = 6680 N $\rightarrow \delta$ = 6.4 mm
 - K = 1044 N/mm per side = 2088 N/mm bending stiffness
 - 30% of 7000 N/mm target
 - Twice the actual stiffness: too stiff ?
- Modified model with flexible joints



기하형상 생성 (1)



기하형상 생성 (2)



에제에서 주어진 기하형상 을 생성

기하형상 생성 (3)



기하형상 생성 (4)



기하형상 생성 (5)



기하형상 생성 (6)



재료 물성 및 특성 입력 (1)

| 재료 | | 🍟 탄성계수 265 GPa |
|---|--|----------------|
| 번호 2 이름 | 재료 색상 🔽 | ● 푸아송비 0.28 |
| All 🗸 | 선형 탄소성 초탄성 온도의존 | |
| 17-4PH, H1100 AISI 1020 AISI 1060 AISI 304 SS Annealed AISI_310_SS AISI_410_SS AISI_410_SS AISI_5teel_1008-HR AISI_Steel_108-HR AISI_Steel_Maraging Alloy Steel Cast Carbon Steel Cast Carbon Steel Cast Carbon Steel Cast Stainless Steel FC250 Galvanized Steel H-1(CR60) HL-4000 Hp-1 Hp-4 Inconel_718_Aged Plain Carbon Steel S/SteC SAPH-400 SE508 SGACC SGACC SGACC SGACC SGACC SGACC SGACC SGACC SGACC SGC SDP SPC SPE SPE SPE SPE SPE SPE SPE SPE SPE | 구조 달성계수 0 프와송비 0.28 열당길도 0 질량길도 0 kg/mm³ 감조운도 0 열전도 0 W/(mm·(TT)) 1 1 명결계수 1 0 J/(kg·(TT)) 1 안전롭게산방법 0 N/mm² 압축 0 N/mm² 안전롭게 수 0 N/mm² 압축 0 N/mm² 안전롭게 수 0 N/mm² 압축 0 N/mm² 안전를 계 수 0 N/mm² 압축 0 N/mm² 안전 등 계 수 0 N/mm² 압축 0 N/mm² 안전 등 계 수 0 1/sec - - - 관향 비례 감쇠 계 수 0 sec - - - 구조 감쇠 계 수 0 - - - - - | |
| [물러오기] 편집 | 확인 취소 적용 | |

재료 물성 및 특성 입력 (2)







요소망 생성 (2)



요소망 생성 (3)



요소망 생성 (4) 방법 1: 스프링 요소



요소망 생성 (4) 방법 2: 부쉬 요소



구속조건 및 하중조건 설정



해석 케이스 정의 및 해석 실행







스프링 강성 변경











에너지밀도 결과를 바탕으 로 변형이 큰 파트를 파악



앞서 실습 모델을 바탕으로 다음 과정을 진행하시오.

- The stiffness requirement is 7000N/mm for the vehicle (or 3500N/mm for each side)
 - (a) Compute the vehicle bending deflection with rigid joints (a joint stiffness of $K_j=1 \times 10^{10}$ Nmm/rad may be considered as rigid). Does the resulting stiffness meet the requirement?
- To improve bending stiffness, any of the sections may be increased in size (w & h) by up to 200% of the initial dimensions, except the rocker which is restricted to an increase in size up to 125% due to entry constraints. Thickness on all sections can be increased to 3mm. (Do not reduce the size of any beams from the given initial size.)
 - (b) Continuing with rigid joints, adjust the side frame beams to meet the stiffness requirement in the most mass efficient way. Do at least two iterations of resizing. Which beams did you adjust, why did you choose them, what are the final beam sizes, and what is the final stiffness?
 - (c) After doing part (b), enter the joint stiffness values shown and determine the bending stiffness with flexible joints. What is the new bending stiffness? What is the fraction of stiffness with flexible joints to stiffness with rigid joints?



Modal 해석

Computational Design Laboratory Department of Automotive Engineering Hanyang University, Seoul, Korea



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

모드 해석

구조물이 갖고 있는 고유 진동수와 각 고유진동수에서의 변형형상을 파 악하여 구조물의 공진 여부와 진동에 의한 변형형상을 예측하는 해석



 $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$

• m 질량

- 감쇠계수 (damping coefficient) ·с
- ۰k 스프링상수 (spring constant)
- x(t) 변위
- f(t) 외력

감쇠와 외부하중이 없는 단자유도계의 운동방정식

감쇠와 외부하중이 없는 다자유도계의 운동방정식

 $m\ddot{x} + kx = 0$

 $[M]{\ddot{x}}+[K]{x}=0$

단순조화운동을 가정하여 해를 계산 할 수 있음: $\{x\} = \{\Phi\}\sin(\omega t)$ Φ:모드형상 ω: 진동수 $[M]{\ddot{x}}+[K]{x} = -\omega^{2}[M]{\Phi}+[K]{\Phi} = 0$

([K] - ω^2 [M]){Φ} = ([K] - \lambda[M]){Φ} $\lambda: \mathfrak{I} \oplus \mathfrak{I}$



• 주요용어

▶ 고유 진동수(Natural Frequency)와 고유 진동주기(Natural Period)

- 고유 진동수 : 구조물의 동적 특성을 표현하는 한 가지로써 단위시간에 진동하는 회수를 의미(Hz)
- 고유 진동주기 : 진동수의 역수(1/f)로서 1회 진동하는데 소요되는 시간을 의미(sec)
- 고유 모드 형상 : 외부의 힘이 제거된 상태에서 구조물이 진동하는 형상을 의미하며,

구조물이 가장 쉽게 변형할 가능성이 높은 형상부터 저차 모드를 가짐

• 공진 : 고유진동수가 구조물에 가해지는 작동주파수의 근처에 있게 되면 구조물에 공진이 발생



모드 해석의 중요성

- 구조물의 동적 특성 (동강성) 파악
 - ▶ 구조물의 고유진동수 및 모드형상 파악
 ▶ 공진여부, 진동 혹은 외력에 의한 변형 예측



https://www.youtube.com/watch?v=OaXSmPgl1os



예제: SIMPLY SUPPORTED BEAM

다음과 같은 문제에서 고유진동수를 구하시오



예제: 이론해

다음과 같은 문제에서 고유진동수를 구하시오

$$K = \frac{48EI}{l^3} = 7500 \text{ N/mm}$$
$$\rightarrow EI = \frac{Kl^3}{48} = \frac{7500 \times 2700^3}{48} = 3.0758e12 \text{ Nmm}^2$$

1차 고유진동수

$$\begin{split} \omega_n &= 22.4L^{-(3/2)}\sqrt{\frac{EI}{M}} \\ &= 22.4 \times \left(\frac{1}{4550[\text{mm}]}\right)^{1.5} \sqrt{\frac{3.0758e12[\text{Nmm}^2]}{718.8[\text{kg}]}} \\ &= 22.4 \times \left(\frac{1}{4550[\text{mm}]}\right)^{1.5} \sqrt{\frac{3.0758e15[\text{kg} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{mm}^3]}{718.8[\text{kg}]}} \\ &= 150.976 \text{ rad/s} \rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 24.03 \text{ Hz} \end{split}$$

MODAL ANALYSIS 빔 요소

기하형상 생성 (1)



기하형상 생성 (2)



재료 물성 및 특성 입력 (1)

| 재료 | |] 🚻 탄 |
|---|--|-------|
| 번호 2 이름 | ₩료 색상 | 부 🔜 푸 |
| All | 선형 | |
| All 17-4PH, H1100 AISI 1020 AISI 1060 AISI 304 SS Annealed AISI_310_SS AISI_Steel_1005 AISI_Steel_1008-HR AISI_Steel_1008-HR AISI_Steel_Maraging Alloy Steel Cast Alloy Steel Cast Alloy Steel Cast Stainless Steel Chrome Stainless Steel FC250 Galvanized Steel H-1(CR60) HL-4000 Hp-1 Hp-4 Inconel_718_Aged Plain Carbon Steel S/Steel_PH15-5 S4SC SAPH-400 SE508 SGACC SGCC SGCC SGCC SGCC SGCD1 SHP SM45C SM490A(KS) SPCC | 선형 구조 탄성계수 21000 N/mm ² 열응력 열팽창계수 0 참조온도 0 [T] 월경도 전도율 0 W/(mm·[T]) 비열 0 J/(kg·[T]) 발열계수 1 안전를계산방법 파손이론 Von Mises 응력(Ductile) • 인장 0 N/mm ² 압축 0 N/mm ² 감쇠 지수 질량 비례 감쇠 계수 0 1/sec 강성 비례 감쇠 계수 0 sec 구조 감쇠 계수 0 | · 전 |
| SPDE SPRC340 SR-0300 Steel Steel_Rolled SUP12 | | |
| SUS304 SUS316 | | |
| 불러오기 편집 | <u>확인</u> 취소 적용 | |

탄성계수 210 GPa 푸와송비 0.3 질량밀도 1.519e-5 kg/mm³

재료 생성

1

재료 물성 및 특성 입력 (2)





예제에서 주어진 단면을 갖 는 1차원 특성 생성







해석 케이스 정의 및 해석 실행







1차 모드의 주파수는

23.574 Hz 로 해석적인 해 24.03 Hz와 오차 1.90% 확인

MODAL ANALYSIS 솔리드 요소

기하형상 생성 (1)



기하형상 생성 (2)





재료 물성 및 특성 입력

| - 7点 98年 98年 98年 98年 98年 98年 98年 98年 98年 98 | 재료 번호 2 이름 🛛 | ···································· | 탄성계수 210 GPa 푸와송비 0.3 질량밀도 1.519e-5 kg/mm ³ |
|--|--|--|--|
| AIS: Steel 1005 A AIS: Steel 1005 AR AIS: Steel 0005 HR AIS: Steel 0005 HR AIS: Steel 0005 HR AIS: Steel 0005 HR H: 0000 H: -1000 H: -10 | 17-4PH, H1100 AISI 1020 AISI 1060 AISI 304 SS Annealed AISI_310_SS AISI 410_SS | 구조 탄성계수 210000 N/mm² 열응력 프와송비 0.3 열광적 0 참조온도 0 M | 재료 생성 |
| 물러오기 편집 편집 확인 취소 적용 | AISI_+10_SS AISI_Steel_1005 AISI_Steel_1008+R AISI_Steel_Maraging Alloy Steel Cast Alloy Steel Cast Carbon Steel Cast Stainless Steel Chrome Stainless Steel FC250 Galvanized Steel H-1(CR60) HL-4000 Hp-1 Hp-4 Inconel_718_Aged Plain Carbon Steel S/Steel_PH15-5 S45C SAPH-400 SE508 SGACC SGACEN SGARC340-E SGCC SGCD1 SHP SM45C SM490A(KS) SPCC SPDE SPRC340 SR-0300 Steel Steel_Rolled SUP12 SUS304 SUS316 IIII | 절량필도 1.519e-005 kg/mm ² 열전도 전도율 0 W/(mm·(T)) 비열 0 J/(kg·(T)) 발열계수 1 안전률계산방법 파손이론 Von Mises 응력(Ductile) ▼ 인장 0 N/mm ² 압축 0 N/mm ² 감쇄 지수 결량 감쇄 지수 결량 감쇄 진수 결량 감쇄 진수 결량 감사원 특성 생성/변경 강성 구조 Ú호 1 이름 3차원 특성 색상 ● ▼ 재료 2: 재료 ♥ 재료 조표계 전체직교좌표계 ▼ | 2 3차원 특성 생성 |

요소망 생성





해석 케이스 정의 및 해석 실행







1차 모드의 주파수는

24.548 Hz 로 해석적인 해 와 오차 2.16% 확인

결과 정리 (1)

| 모드 차수 | 1차 | 2차 | 3차 | |
|-------------------|--------|--------|--------|--|
| 해석적인 해 [Hz] | 24.03 | | | |
| 모드 형상 (빔 요소) | | | | |
| 주파수 [Hz] | 23.574 | 50.187 | 77.375 | |
| 모드 형상 (솔리드 요소) | | | | |
| 주파수 [Hz] | 24.548 | 52.224 | 81.111 | |

결과 정리 (2)



his analysis indicates that a bending stiffness requirement of approximately 7000 N/mr e the desired 22–25 Hz vehicle frequency, Figure 4.12.



Effective Mass

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

연습문제

• NAFEMS benchmark test: Simply-supported thin square plate (Shell / Solid 요소에 대해 모드 해석 수행)



재료 물성치 및 plate 두께

| | Young's modulus | E = 200 GPa |
|------------------|-----------------|------------------------|
| Material data | Poisson's ratio | v = 0.3 |
| | Density | $\rho = 8000 \ kg/m^3$ |
| Section property | Thickness | t = 0.05 m |

Mode에 따른 주파수 값

| Mode Number | 1 | 2,3 | 4 | 5,6 | 7,8 |
|-------------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Reference | 2.377 | 5.942 | 9.507 | 11.884 | 15.449 |

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.



| | | Shell element | | | | | |
|---|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1st order | | | 2nd | order | |
| | Ref. | 4x4 | 10x10 | 20x20 | 30x30 | 4x4 | 10x10 |
| 1 | 2.377 | 2.547 | 2.399 | 2.382 | 2.379 | 2.384 | 2.377 |
| 2 | 5.942 | 7.823 | 6.150 | 5.986 | 5.960 | 6.055 | 5.942 |
| 3 | 5.942 | 7.823 | 6.150 | 5.986 | 5.960 | 6.055 | 5.942 |
| 4 | 9.507 | 12.780 | 9.908 | 9.586 | 9.539 | 9.980 | 9.513 |
| 5 | 11.884 | 26.555 | 12.949 | 12.105 | 11.977 | 12.753 | 11.897 |
| 6 | 11.884 | 26.555 | 12.949 | 12.105 | 11.977 | 12.753 | 11.897 |
| 7 | 15.449 | 31.087 | 16.758 | 15.702 | 15.550 | 14.132 | 15.485 |
| 8 | 15.449 | 31.087 | 16.758 | 15.702 | 15.550 | 14.132 | 15.485 |



숙제: 경계 조건에 따른 모드 형상

구속조건에 따른 모드 형상의 변화를 1D/3D 모델로 비교하시오







| Beam Configuration | $(\beta_l t)^2$ Fundamental | $(\beta_2 l)^2$ Second Mode | $(\beta_3 l)^2$ Third Mode |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Simply supported | 9.87 | 39.5 | 88.9 |
| Cantilever | 3.52 | 22.0 | 61.7 |
| Free-free | 22.4 | 61.7 | 121.0 |
| Clamped-clamped | 22.4 | 61.7 | 121.0 |
| Clamped-hinged | 15.4 | 50.0 | 104.0 |
| Hinged-free | 0 | 15.4 | 50.0 |