# **Frequency Response Analysis (1)**

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



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

### OUTLINE

### Lecture Goals

### ✓ 3D 모델의 모드 해석(modal analysis)을 통해 고유 주파수 및 모드 형상을 파악하고 주파수 응답 해석(frequency response analysis)을 수행하여 응답 값이 큰 주파수 영역을 확인한다.

### Contents

- ✓ Modal analysis of 3D structure
- ✓ Frequency response analysis of 3D structure

### • 해석 프로세스

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

## 주파수 응답 해석 [1]



Figure 7.12 Single-degree-of-freedom system behavior.

$$\sum (\text{forces acting on m}) = m \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$$
  

$$f(t) - kx(t) = m \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$$
  

$$f(t) = F \sin(\omega t), \quad x(t) = X \sin(\omega t)$$
  

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -X \omega^2 \sin(\omega t)$$
  

$$F \sin(\omega t) = kX \sin(\omega t) - mX \omega^2 \sin(\omega t)$$
  

$$F = kX - mX \omega^2$$
  

$$\frac{X}{F} = \frac{1}{k - m\omega^2}, \quad \frac{X}{F} = \frac{1/k}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} = P(\omega)$$





### 이지는 지조이 조기권이고 비타권이이야 지

### : 작용하는 하중이 주기적이고 반복적이어야 하는 가정이 필요 (주파수 별로 구조물에 발생하는 주요 응답을 구체적으로 확인 가능)



### 주파수 응답 해석 [2]



운동 방정식 주파수 응답 해석의 운동 방정식 [**M**]{ $\ddot{\mathbf{x}}(t)$ }+[**C**]{ $\dot{\mathbf{x}}(t)$ }+[**K**]{ $\mathbf{x}(t)$ } ={**F**(t)} (- $\omega^2$ [**M**]+ $\omega$ [**C**]+[**K**]){ $\mathbf{x}(\omega)$ } ={ $F(\omega)$ }

### 연습예제: HANGER

• 해석 개요

대상 모델







Modal analysis → Frequency response analysis

중요 모드를 파악하여 후속 동해석(주파수)의 가이드로 활용 → 정확한 동해석 계산이 가능할 만큼 충분한 모드가 사용되는지 파악 → 주파수 응답 해석의 관심 주파수 범위를 파악하고 주파수 증분을 설정

## **MODAL ANALYSIS**

## 기하형상 불러오기





File  $\rightarrow$  Import  $\rightarrow$  Geometry 클릭 File type: Parasolid 선택 📂 아이콘 클릭 후 Hanger.x\_t 파일 선택 ₃ Import Options 클릭, Topology > Target units > Scale factor: 1000

### 재료 물성 및 특성 입력





### 요소망 생성 (1)



### 요소망 생성 (2)



새로 형성된 component에 property 입력

### 구속조건 설정



## 해석 케이스 정의 및 해석 실행 (1)



iy   Mask   Model				Madel Info: Untitled
r Search String Q 🗸 🕷		Name	Value	
• 📲 🖏 🗢 • 🛍 • 🗟 🚔		Solver Keyword	EIGRL	
Assembly Hierarchy	e	Name	eiarl	
Angel 1 3 0 Components (2)	<b>1</b>	ID	2	
I Hanger 1 0 I Hanger 1 0 I Hanger 3 0	0 123	Color		
Load Collectors (2)	E ABC	Include	[Master Model]	
Materials (1)	ABC	Card Image	EIGBL	
Properties (1)		User Comments	Hide In Menu/Export	
) Titles (1) -		V1		
, _		V2		
Value		ND	6	
verKeyword EIGRL me eign 2		MSGLVI		
lor lude [Master Model]		MAXSET		
d Image EIGRL ar Comments Hide In Menu/Export		SHESCI		
6	solid m	NORM	MASS	editelement C Geom
SLVL (SET	linear si solid m	, torna		split C 1D replace C 2D
FSCL RM MASS				detach r 3D order change r Analysis
				config edit C Tool

Ctrl + F 를 누르고 eigrl 입 력하여 load collector 생성

ND 칸에 6 입력 (모드 개수 설정)





### 모드형상 확인



# **FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS**

## 정적하중조건 설정 (1)



생성, 요소망 생성, 구속조건 설정까지 앞의 과정과 동일하 게 진행 1D → rigids → RBE2 → Node 설정하는 부분을 그림과 같이 설정

모델 불러오기, 재료와 특성

(multiple nodes, calculate node)

## 정적하중조건 설정 (2)



## 주파수 의존함수 입력





### 동적하중조건으로 변환



Ctrl + F 를 눌러 RLOAD2 load collector 생성

생성했던 주파수 의존함수와 정적 하중을 그림과 같이 입력

RLOAD2  $\rightarrow$  frequency-dependent dynamic load of the form :

 $\mathbf{f}\left(arOmega
ight)=A^{st}B\left(arOmega
ight)e^{i\left(\phi\left(arOmega
ight)+ heta-2\piarOma} au
ight)}$ 

A : EXCITEID (force) B : TABLED1

## 해석 케이스 설정 (1)



## 해석 케이스 설정 (2)



### 해석 케이스 설정 (3)

### FREQ1

### 주파수 영역 결정

#### Bulk Data Entry

Defines a set of frequencies to be used in the solution of frequency response problems by specification of a starting frequency, frequency increment, and the number of increments desired.

### FREQ2

#### Bulk Data Entry

Defines a set of frequencies to be used in the solution of frequency response problems by specification of a starting frequency, final frequency, and the number of logarithmic increments desired.

### FREQ3

#### **Bulk Data Entry**

Defines a set of frequencies for the modal method of frequency response analysis by specifying the number of frequencies between modal frequencies.

### FREQ4

#### **Bulk Data Entry**

Defines a set of frequencies for the modal method of frequency response analysis by specifying the amount of "spread" around each modal frequency and the number of equally spaced frequencies within the spread.

### FREQ5

#### **Bulk Data Entry**

Defines a set of frequencies for the modal method of frequency response analysis by specification of a frequency range and fractions of the natural frequencies within that range.

## 해석 케이스 설정 (4)

💋 hanger.hm* - HyperMesh 20	17.2 - OptiStruct				- 🗆 X
File Edit View Collectors G	ieometry Mesh Connecto	rs Materials Properties BCs Setup T	ools Morphing Optimization Post XVPlots Preference	s Applications Help	
	🌡 📭 - : 🧠 🤤 🗋				
Utility Mask Model	2			Model Info: C/Users/SJ_Lee/Desktop	h/VS/Optistru <mark>eto#@t13_}}%%</mark> _NG_treq_2/hanger.hm*
Enter Sawah String	<b>8</b>	- <b>-</b>			
Ener search sung		E			
Entities ID	Include //_ 1		Land Chans (1)		
- 💋 🗃 auto1 3 🗍	0		P Load Steps (1)		
Coad Collectors (6)	0		🚽 📥 freq resp	1 0	
	0	0	- Hedriceb		
rload2 4	0	123			
- Dege eign 5	0	El ABC			
E toad Steps (1)	0	ABC			and the second se
Haterials (1)					
E Steel 1	U				
⇒log prolid 1	0				
□ □ ■ Model Info 1 □	0		ubcase Definition		
Name	Value		Applusis tupo	Fred reer	(modal)
Include User Comments	[Master Model] Hide In Menu/Export	z	Analysis (ype	rieq. ies	(modal)
Subcase Definition     Analysis type	Freq. resp (modal)		SPC	(1) spcs	
SPC SUPORT1	(1) spcs	¥	CUDODT1		C
DLOAD	(4) rload2		SUPURIT	<ul> <li><unspec< li=""> </unspec<></li></ul>	lued>
MPC METHOD (STRUCT)	(5) eigrl	mass	DLOAD	(4) rload2	C Geom
METHOD (FLUID) FREQ	<unspecified> (6) freqi</unspecified>	joint	1100		C 2D
SDAMPING (STRUCT) SDAMPING (FLUID)	<unspecified></unspecified>		MPC	<unspec< td=""><td>itied&gt;</td></unspec<>	itied>
	<unspecified></unspecified>			T) (5) eigrl	C Analysi C Tool
LABEL			2	(o) oigh	C Post
1-D Elements			METHOD (FLUID)	<unspec< td=""><td>ified&gt;</td></unspec<>	ified>
			FBEQ	(6) freqi	
			THEQ	(o) neqr	10071
			SDAMPING (STRU	JCT) (Unspec	fied>
			SDAMPING (ELUIT	)) (Upeneo	ified>
				<ul> <li>Conspect</li> </ul>	ilogy
			STATSUB (PRELC	IAD) <unspec< td=""><td>ified&gt;</td></unspec<>	ified>

Load step 생성 후 analysis type에서 Freq.resp(modal) 선택

### 2 생성했던 load collector 들 그림과 같이 입력

## 해석 케이스 설정 (5)



3개 Nodes 클릭

### 해석 케이스 설정 (6)



Setup  $\rightarrow$  Create  $\rightarrow$  Control

Cards 클릭

## 해석 케이스 설정 (7)







## 해석 케이스 설정 (8)

		상단 스크롤바를 오른쪽으로 밀어서 SID 칸 확인
Card Image X		두 번 클릭하여 정의했던 set 을 입력
PEAK(1) MODAL(1) FOURIER(1) ANALYSIS(1) TYPE(1) OPTION(1) SID		SID
▲         □         CSTRESS         reject           ▲         □         DAMAGE         default           ↓         ✓         DISPLACEMENTS_NUM =         1           ↓         DISPLACEMENTS_NUM =         1           ↓         DRESPONSE         abort           ↓         ■         EDE         return		$\rightarrow$ If a set ID is given, displacement is output only for grids listed in that set
Card Image X	] [	
node_set 2 / / 2		
<ul> <li>display RLs</li> <li>✓ name</li> <li>✓ return</li> </ul>		

## 해석 케이스 설정 (9)



## 해석 케이스 설정 (10)



Hyper3D format



Edit View Model Results Annotations Tools File 睯 New 🕨 🔽 💑 e 🧖 e **-** : C Session Ctrl+O Open 🔚 Save Report Template 😼 Save As 🕨 😹 Model Plot Subscribe Media ۶l 🥟 Import Document





# 후처리 (2)







### 차체구조 후처리 (3): 가속도, 속도 응답 설정 GLOBAL\_OUTPUT\_REQUEST에서 ACCELERATION, VELOCITY 체크 가속도 및 속도 응답 설정 SID에 정의했던 set을 입력 ✓ ACCELERATION OPTION(1) SID(1) ACCELERATION NUM = 1 SID VELOCITY VELOCITY\_NUM = Subcase 1 (loadstep1) - Acceleration of grid 2525 가속도 응답 주파수 응답 해석 장점 : 하중에 대한 주파수별 특 성 분석 : 지배주파수 (응답에 가장 큰 영향을 미치는 주파수) 5000 Frequency Subcase 1 (loadstep1) - Velocity of grid 2525 영역 파악 가능 : 구조물이 가장 민감하게

반응하는 주파수 영역 파악

<figure>

### 예제 1: STEERING COLUMN

다음 그림과 같은 steering column 구조를 1D 요소를 이용하여 모델링하고 주파수 응답 해석을 진행하시오. (주파수 범위 0~50 Hz, 균일구조감쇠 없음)



### 예제 1: STEERING COLUMN

### 주파수 의존함수

	х	у
1	0.0	1.0
2	50.0	1.0

### 주파수 세트 → FREQ1 사용

F1	DF	NDF
0.0	1.0	100



### 차체구조

## 예제 1: STEERING COLUMN



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

### 예제 2: BODY FRAME

재료 : alloy steel 2D 두께 : 2.5 mm 스프링 상수 : 500N/mm 균일구조감쇠 : 0.1



주	Ш	·수	핟	수

	x	у
1	0.0	1.0
2	10.0	1.0

주파수 세트 → FREQ1 사용

F1	DF	NDF
0.0	0.1	100



- 강체 중심에 집중 질량 생성 (전면부터 0.5 / 0.4 / 0.3 순서로)
- 좌측 스프링 요소 상단 절점
   : z방향으로 10000N
- 우측 스프링 요소 상단 절점 : z방향으로 -10000N

### 예제 2: BODY FRAME



Rigids를 통하여 강체요소 생성 후 스프링 요소와 집중질량 생성



### 예제 2: BODY FRAME



5 Frequency