Joint Design

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



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

OUTLINE

Lecture Goals

- ✓ L-shape과 T-shape 조인트 모델을 유한요소(shell vs. beam)와
 재료물성(선형 vs. 비선형) 관점에서 해석하여 조인트 강성을 비교
 한다.
- Contents
 - ✓ Linear joint stiffness analysis
 - : Shell and beam elements (L-shaped component)
 - ✓ Nonlinear joint stiffness analysis
 - : Shell and beam elements (T-shaped component)

Joint Stiffness Analysis

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



Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.



- 예제 문제
 - L-shaped Linear Joint stiffness analysis
 - T-shaped Nonlinear Joint stiffness analysis
- 해석 프로세스
 - ▶ Component-geometry 생성
 - > Materials and properties
 - ▶ Component-mesh 생성
 - ▶ Load collectors-boundary conditions 설정
 - ▶ Load collectors-load 설정
 - ▶ Load steps 정의 및 해석
 - ▶ 후처리

차체구조

예제: JOINT STIFFNESS (1)

How to calculate rotational joint stiffness?

- 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







- F = 6680 N $\rightarrow \delta$ = 7.7 mm
 - K = 1735 N/mm bending stiffness

예제: JOINT STIFFNESS (2)

- Joint rigidity in-plane bending
 - Mass penalty
 - Additional load path

 Effect of added bulkhead on out-of-plane joint rigidity



Linear Joint Stiffness (shell element)

OK

기하형상 생성 (1)

							OptiStruct 선택
Intified - HumerMach 2017.2 - Ont(Struct						- 6 X	
File Edit View Collectors Geometry Mesh Connectors Material	ils Properties BCs Setup Tools Morphing Opt	mization Post XYPlots Preferences Applicati	ons Help				
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		t Alera.					
						1	
	User Profiles	*					
	Customize user interface:	•					
Enter Search String	Application: HyperMesh 🔹						
🖞 · 📲 · 👌 💒 🖉 · 👘 · 👌 💒	Default (HyperMesh)						i i
Entities ID 😵 Include	C RADIDSS Radioss201	7 *					
	OptiStruct						
	C Abagus Standard3D	-					I
	C Actran						
	C Ansys						
	C Excodus Sierra_SD	<u> </u>					i
	C LsDjina Keywood97	<u>_R8.0 ·</u>					
	Madymo Madymo70	<u> </u>					I
	(Marc Marc3D	<u>_</u>					
	Nastran Nastran/KSI	<u> </u>					
	C Durren	52016					i
	C Samuel						
	- Saite	i					
	Always show at start-up						
	- Or	Crewel 1					
							I
	•						
Name Value	-						
	Y						
	2						i
					2		
		Auto • 🖓 • 😭 •	🖢 By Comp 🔹 🛞 • 🍘 • 🦯 • 🐟 • 🗞	>• ș≣ 📮 🙀			
	and a	l Fron	l autocco		1 quick adit	L & Coom	
	nodes	line edit	surface edit	solid edit	edae edit		
	temp nodes	length	defeature	ribs	pointedit	C 2D	·
	distance	j	midsurface		autocleanup	C 3D	
	points]	dimensioning			 Analysis 	
						C Tool	
						(* Post	1

기하형상 생성 (2)



기하형상 생성 (3)



재료 물성 및 특성 입력

	Solver Keyword	MAT1
	Name	material1
	ID	1
	Color	
	Include	[Master Model]
	Defined	
	Card Image	MAT1
	User Comments	Hide In Menu/Export
*	E	210000.0
	G	
	NU	0.3
	RHO	

ame	Value
Solver Keyword	PSHELL
Name	property1
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Defined	
Card Image	PSHELL
Material	(1) material1
User Comments	Hide In Menu/Export
Т	1.6

재료 생성 및 물성치 입력 property 생성 후 재료 및 두께 설정

요소망 생성



구속조건 및 하중조건 설정







Linear Joint Stiffness (beam element)

기하형상 생성 (1)



기하형상 생성 (2)



'Geom' -> 'lines' 클릭 가로 세로 400 mm 인 ㄴ자 형상을 생성

스프링을 부착할 부분을 0.5 mm 정도로 떨어트림

재료 물성 및 특성 입력

Name		beamsection1			
ID		1			
Include		[Master Model]			
Collector		(1) beamsectcol1			
Config		Standard	(
Section Type		» BOX			
Parameter D	efinitions				
Dimensior	DIM1	50.0			
Dimensior	nDIM2	50.0			
Thickness	DIM3	1.6			
Thickness	DIM4	1.6			
Data					
Area		309.76			
Centroid: I	Local Yc	0.0			
Centroid: I	Local Zc	0.0			
MOI: Loca	al IY	121070.72853333			
MOI: Loca	al IZ	121070.72853333			
MOI: Loca	al IYZ	0.0			
MOI: Cent	roidal ly	121070.72853333			
MOI: Cent	roidal Iz	121070.72853333			
MOI: Cent	roidal lyz	0.0			
MOI: Princ	sipal Iv	121070.72853333			
MOI: Princ	sipal Iw	121070.72853333			
MOI: Princ	cipal Angle	0.0			
Shear Cer	nter: Local Ys	0.0			
Shear Cer	nter: Local Zs	0.0			
Sł					
Sł	DIM3	Yelem			

Type = BOX



요소망 생성

		nin kasia	,		Model Info: C/Users/cdl/Deskto	p/HW/day6/beam1/beam1.hm*	1	'1D' -> 'line mesh' 활용하 여 크기 40의 요소망 생성
	omp =	1 . 0 . 0 . FORCE - 1.000						빔 단면의 로컬 y축 방향을 고려하여 각각 생성
Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z Z	Auto Concernante bars rods rigids ribe3 springs gaps	By Comp Connect Spotwer HyperBu		orie	ntation in basic 0 1 0 0	. 0 0 0 . 0 0 0 0 0 . 0 0 0 0 0 . 0 0 0 0 0 0 0 . 0 0 0 0 0 0 0 0 . 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		생성한 요소망에 property 설정
			beam1	1 🔳	0			
		Name	Value					
		Name	beam1					
		IU Color					\$\$\$\$	
		Luciul	Master Mo	ſleb			2	
		incide		the second se				
		Property	(1) propertu	1			- Y	

Copyright © Computational Design Lab. All rights reserved.

부쉬 생성(1)



부쉬 생성(2)



구속조건 및 하중조건 설정





	Contour Plot Displacement(Y) Analysis system - 6.089E-03 - 5.412E-03			최대 변 로 기존 mm 보 [[] 로 확인	위는 6.089e-3 mm 쉘 요소의1.261e-2 다 강성이 높은 것으
	4.736E-03 4.059E-03 2.706E-03 2.030E-03 1.353E-03 6.766E-04 0.000E+00 No result		1:1 Subcase 1 (loadstep1) - Static Analysis : Frame 4	따라서 : 시키면시 위를 갖 법으로 - (K4 스프	스프링 강성을 변화 † 기존 쉘 요소의 변 는 강성을 시행착오 구함 트링 강성 변경)
× I+ : 0 0- 0" (Max = 6.089E-03 Grids 22 Min = 0.000E+00 Grids 11			찾은 스: 2.43e7 I	프링 강성 값은 Nmm/rad
9 8 9 9 9 W	z x			Name Solver Keyword Name ID Color Include Defined Card Image User Comments K_LINE K1_RIGID K1_RIGID K2_RIGID K3_RIGID K3	Value PBUSH buch 2 (Master Model) V PBUSH Hide In Menu/Export V RIGID V RIGID V RIGID
1		╷╷ ╷╷╬╶╗╏╎┾ <mark>╴</mark> ╝┊╬╺╛╖┩┇╬┊╋╺┇のののの		E K4_RIGID K4 E K5 RIGID	2.43e7
Deforme Result Scale: Type: Value:	dd dhape: type: Displacement (v) ▼ Scale factor ▼ Unform ▼ 1000 ▲	age: Tame somert tracking system		K5 ■ K6_RIGID K6 B_LINE GE_LINE M_LINE PBUSHT	RIGID RIGID RIGID

해석 결과: 스프링 상수 변경



연습문제: BULKHEAD 효과

- Bulkhead를 모델링하여 해석 수행 후 강성 비교
 - Effect of added bulkhead on out-of-plane joint rigidity







Nonlinear Joint Stiffness (shell element)

비선형 정적 해석 개요

선형 거동이란?

▶ 유한요소 해석에서 가장 기본이 되는 식은 다음과 같다.

 $\{F\} = [K]\{U\}$

- {F}: 하중 벡터
- {U}: 변위 벡터
- [K] : 강성 행렬(Stiffness Matrix)

▶ <u>강성행렬이 일정한 값</u>을 가지는 경우 하중과 변위는 선형 관계에 있다고 한다.

- 하중-변위 관계식이 선형 조건
- 변형 및 변형율이 미소한 경우에 적용
- 요소의 적합 및 구성 방정식이 선형
- 강성행렬이 항상 일정
- 항복강도 이하에서 해석
- 초기 모델이 평형조건식을 만족
- 경계조건이 변하지 않음
- 하중은 변위에 독립된 요소
- 변위는 하중에 선형 비례함
- 중첩의 원리 적용 가능



비선형 정적 해석 개요

비선형 거동이란?

- 자연계의 현상은 정확히 말해서 모두 비선형 현상이라고 볼 수 있다.
- •비선형 현상을 포함하고 있는 구조물은 <u>하중과 변위의 관계가 선형 관계를 가지고 있지 않는 것</u>을 의미한다.
- · 즉, 비선형성을 포함하고 있는 구조물의 기본적인 특성은 하중이 변함에 따라 <u>구조 강성이 변한다는 것</u>을 의미한다.



비선형 정적 해석 개요

비선형 정적 해석의 종류



예제: JOINT ANALYSIS

First Order Analysis for Automotive Body Structure Design –Part 2 : Joint Analysis Considering Nonlinear Behavior

Yasuaki Tsurumi, Hidekazu Nishigaki, Toshiaki Nakagawa, Tatsuyuki Amago, Katsuya Furusu

Toyota Central R&D Labs., Inc.

Noboru Kikuchi

The department of Mechanical Engineering at the University of Michigan

Copyright © 2003 SAE International



기하형상 생성

	Y × z	A		D	201 -	
: 😞	o 🖻 😓 🕌 🖓 • 🎇 🎯	두 🚏 🚬 Auto 🔹 🖓 • 🔷 •	🐨 🖉 By Comp 🔹 🗐 🕈 📢)• � • � • # 📮 : 🔶		
	nodes	lines	surfaces	solids	quick edit	Geom
	node edit	line edit	surface edit) solid edit	edge edit	C 1D
	distance	iengin	midsurface	nos	autocleanun	C 3D
	010100		dimensioning	-	aabbibbingp	C Analysis
	points		annenerering			
_	points					← Tool

N1		N2		N3		base	
×=	575.000	× =	425.000	× =	425.000	×=	425.000
y=	150.000	y=	475.000	y=	150.000	y=	150.000
Z =	0.000	Z =	0.000	Z =	150.000	Z =	0.000

N1		N2		N3		base	
×=	1000.000	× =	0.000	X =	0.000	× =	0.000
y =	0.000	y =	150.000	y =	0.000	y=	0.000
Z =	0.000	Z =	0.000	z = 15	0.000	z =	0.000

예제의 형상을 바탕으로 A, B 파트 생성

(bulkhead 없는 형상)

'Geom' -> 'solid edit' 클릭, boolean 선택, advanced, A+B 이전 예제와 동일하게 수행

재료 물성 및 특성 입력

Name	value	🚊 🙀 Materials (1
Solver Keyword	MAT1	🔚 🔀 mater
Name	material1	🚊 😂 Properties
ID	1	:🏷 prope
Color		rope
Include	[Master Model]	rope
Defined		prope
Card Image	MAT1	Name
User Comments	Hide In Menu/Export	Solver Keyw
E	210000.0	Name
G		IU Color
NU	0.3	Include
BHO		Defined
A		Card Image
TBEE		Material
GE		User Comme
ST		T
ST.		MID2_opts
ee		MID3 opto
JJ MATC1	(1999)	

1.2

		10-10-		
Materials (1)				
material1		J 🗖 🛛	U	
Properties (4)				
property_1.5	5	1 🔳	0	
property_1.3	3	2 📕	0	
property_1.0)5	3 🔳	0	
property_0.8	33	4 🔳	0	
Name	Value			^
Solver Keyword	PSHELI	2		
Name	property	_0.83		
ID	4			
Color				
Include	[Master	Model]		
Defined				
Card Image	PSHEL	2		
Material	(1) mate	rial1		
User Comments	Hide In	Menu/Export	t	
Т	0.83			
MID2_opts				
I12_T3				
MID3_opts	(Com)			
TS_T				
NSM	0.0			
Z1				
Z2				
Offset_opts	MID4			~

재료 물성치 및 특성 생성

두께 별 특성 각각 생성

요소망 생성



('2D' -> 'automesh'), elems to current comp





해석 케이스 정의

DT

0.0

	1	0		ame		Value
			. ĭ	Solver Keyword		SUBCASE
ame	Value		^	Name		loadstep2
Solver Keyword	SUBCASE			ID		2
Name	loadstep1		- I I	Include		[Master Model]
ID	1		- L	User Comments		Hide In Menu/Ex
Include Liser Commonte	[Master Model]		-	Subcase Definit	ion	
Subcase Definition	The Hundred Artson		TD i	Analysis type		Non-linear quasi-
Analysis type	Linear Static			SPC		(1) spc
SPC	(1) spcs			LUAD		(2) force
LOAD	(2) force		1 i i	NLPARM	001003	<unspecified></unspecified>
SUPORT1	<unspecified></unspecified>			NLPARM(I	GDISPJ	(3) niparm
PRETENSION	<unspecified></unspecified>			SUPURI1		<unspecified></unspecified>
MPC	<unspecified></unspecified>			DEFURM	ION	<unspecified></unspecified>
DEFORM	<unspecified></unspecified>		_	MDC	ION	<unspecified></unspecified>
STATSUB (PRELUAD)	<unspecified></unspecified>					 <unspecified></unspecified>
	<unspecified></unspecified>			NIADADT	(FREIENS)	 Conspecifieds
				NLOUT		(O) alout
🔽 🗖 🕺 Load Collectore ((4)					
	(4)	0				
Collectors	1	0				
Coad Conectors	(4) 1 🔳 2 📃	0 0				
Coal Collectors	1 🚺 2 🔲 3 🔳	0 0 0				
Coad Conectors	1 1 2 1 3 1 4 1	0 0 0 0				
Name	1 1 2 2 3 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0	Name		Value	
Load Collectors	14] 2 1 3 4 Value NLPARM	0 0 0	Name So	ver Keyword	Value	
Name Solver Keyword Name	14] 2 2 3 4 Value NLPARM nlparm	0 0 0	Name So Na	lver Keyword me	Value NLOUT nlout	
Name ID	14] 2 3 4 Value NLPARM nlparm 3	0 0 0	Name So Na ID	lver Keyword me	Value NLOUT nlout 4	
Load collectors Solver Keyword Name ID Color	14] 2 2 3 3 4 4 Value NLPARM nlparm 3	0 0 0 0	Name So Na ID Co	lver Keyword me lor	Value NLOUT nlout 4	
Load collectors Solver Keyword Name ID Color Include	1 1 2 2 3 4 Value NLPARM nlparm 3 [Master Model]	0 0 0	Name So Na ID Co	lver Keyword me lor	Value NLOUT nlout 4 [Master Mi	odel]
Name ID Color Include Card Image	1 1 2 2 3 3 4 Value NLPARM nlparm 3 [Master Model] NLPARM	0 0 0 0	Name So Na ID Co Inc	lver Keyword me lor lude rd Image	Value NLOUT nlout 4 [Master Mo NLOUT	odel]
Name ID Color Include Card Image User Comments	1 1 2 2 3 3 4 Value NLPARM nlparm 3 [Master Model] NLPARM Hide In Menu/F	0 0 0 0	Name So Na ID Co Inc Ca Us	Iver Keyword me lor Jude rd Image er Comments	Value NLOUT nlout 4 [Master Mi NLOUT Hide In Me	odel]

'loadstep1'은 선형 정적 해석 케이스

²비선형 정적 해석을 위한 'NLPARM', 'NLOUT' 설정

'loadstep2'는 비선형 정적 해석 케이스

SVNONCNV

Control card 클릭

2 PARAM 클릭

'LGDISP' 체크

해석 수행

3

해석 케이스 정의

- 😓 😓 😼 🧏 🖳 - 🗱 🍘 🌍 🍄 🕿 Auto 💿 🗸 - 💎 - 🌚 🔮 By Comp 💿 🚭	
vectors load types	interfaces control cards Geom
systems constraints accels	rigid walls output block C 1D
preserve node equations temperatures	entity sets loadsteps C 2D
forces flux	blocks C 3D
moments load on geom	contactsurfs optimization 🤅 Analysis
pressures	bodies C Tool
	nsm OptiStruct C Post

OSDIAG	PFMODE	RESTARTW	delete
OUTFILE	PFPANEL	RESULTS	disable
OUTPUT	PROPERTY	SCREEN	enable
P2G	RADPRM	SENSITIVITY	
PARAM		SENSOUT	next
PRETPRM	RESTART	SHAPE	prev
PFGRID	RESTARTR	SHRES	return



PARAM, LGDISP

Bulk Data Entry

Activates Large Displacement Nonlinear Analysis.

해석 결과 (1)



해석 결과 (2)



해석 결과 (3): IN-PLANE LOAD



Nonlinear Joint Stiffness (beam element)

기하형상 생성



재료 물성/특성 입력 및 요소망 생성

Name	Value
Name	beamsection1
ID	1
Include	[Master Model]
Collector	(1) beamsectcol1
Config	Standard
Section Type	BOX1
Parameter Definitions	
Dimension DIM1	150.0
Dimension DIM2	150.0
Thickness DIM3	1.5
Thickness DIM4	1.5
Thickness DIM5	1.5
Thickness DIM6	1.3

Name	Value
Name	beamsection2
ID	2
Include	[Master Model]
Collector	(1) beamsectcol1
Config	Standard
Section Type	BOX1
Parameter Definitions	
Dimension DIM1	150.0
Dimension DIM2	150.0
Thickness DIM3	0.83
Thickness DIM4	0.83
Thickness DIM5	1.05
Thickness DIM6	0.83







비선형 부쉬 특성 생성 (1)

·«	
Name	Value
Solver Keyword	TABLED1
Name	TABLED1
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Card Image	TABLED1
User Comments	Hide In Menu/Export
XAXIS	LINEAR
YAXIS	LINEAR
TABLED1_NUM =	5
Data: x,	2

TABLED1_NUM =		×		
		X	У	
	1	-0.018912	-3000000.0	
- j	2	-0.00648	-750000.0	
	3	0.0	0.0	
- i.	4	0.00648	750000.0	
	5	0.018912	3000000.0	





비선형 부쉬 특성 생성









구속조건 및 하중조건 설정



해석 케이스 정의 및 해석 실행

🗄 🚛 Load Collectors (4)		
🛛 🗾 🛃 table1	1 🔳	0
- 💋 🖽 spc	2 📘	0
- 💋 📆 force	3 📘	0
🚽 💋 🖪 nlparm	4 📃 .	0
Name	Value	
Solver Keyword	NLPARM	
Name	nlparm	
ID	4	
Color		
Include	[Master Mode	:[]
Card Image	NLPARM	
User Comments	Do Not Expor	t
NINC		
DT	0.01	
KSTEP		
MAXITER		
CONV		
EPSU		

Value
NLOUT
nlout
4
[Master Model]
NLOUT
Hide In Menu/Export

📮 🔂 Load Steps (1)			
🎰 👍 loadstep1	1	0	
Name	Value		
Solver Keyword	SUBCASE		
Name	loadstep1		
ID	1		
Include	[Master Mod	el]	
User Comments	Do Not Expo	ort	
Subcase Definition			
🖃 Analysis type	Non-linear qu	uasi-static	
SPC	(2) spc		
LOAD	(3) force		
NLPARM	<unspecified< td=""><td>d></td><td></td></unspecified<>	d>	
NLPARM(LGDISP)	(4) nlparm		
SUPORT1	<unspecified< td=""><td>d></td><td></td></unspecified<>	d>	
DEFORM	<unspecified< td=""><td>d></td><td></td></unspecified<>	d>	
PRETENSION	<unspecified< td=""><td>d></td><td></td></unspecified<>	d>	
MPC	< Unspecified	d>	
STATSUB (PRETENS)	<unspecified< td=""><td>ł></td><td></td></unspecified<>	ł>	
NLADAPT	<unspecified< td=""><td>ł></td><td></td></unspecified<>	ł>	
NLOUT	(4) nlout		

Subcase Definition	
🖂 Analysis type	Linear Static
SPC	(1) spcs
LOAD	(2) force
SUPORT1	<unspecified></unspecified>
PRETENSION	<unspecified></unspecified>
MPC	<unspecified></unspecified>
DEFORM	<unspecified></unspecified>
STATSUB (PRELOAD)	<unspecified></unspecified>
STATSUB (PRETENS)	<unspecified></unspecified>
SUBCASE OPTIONS	

비선형 정적해석을 위한 'NLPARM', 'NLOUT' 생성

2 loadstep1, 2 (선형, 비선형) 설정 후 해석

해석 결과 (1)



해석 결과 (2) : IN-PLANE LOAD





• 다음 모델에 대하여 비선형 정적 해석을 이용하여 1D 조인트 설계 수행

