

철골형 풍력발전 기둥 설계

및 원통형 과의 비교

미래자동차공학과

2011012324 신동민



● 목차

- 주제선정 배경
- 기준모델 선정
- 초기모델 설정 / 하중 · 구속조건 부여
- 위상최적화
- 치수최적화
- 결과 및 결과분석

주제선정 배경

급격히 늘어나는 신재생에너지 발전 비율

(자료: 국제에너지기구(IEA), 단위: %, 글로벌 전력생산에서 발전원별 비중)



전세계 화석에너지 에너지 의존도 낮추고
 재생에너지 비율을 높이려고 노력

전세계 풍력발전 용량



전세계 풍력 발전량 증가 증가추세



경제적인 풍력발전 인프라
 구축 필요성 대두

주제 선정 배경



철골형 풍력발전 기둥



원통형 풍력발전 기둥

해석적인 방법으로 철골형
풍력발전 기둥설계



안전성(변위, 응력, 주파수)과
경제성(무게)의 기준으로 설
계한 철골형과 기존 원통형
비교

● 기준모델 선정



유니슨 2MW 풍력발전기

유니슨 2MW 풍력발전기

발전 용량 : 2MW

발전시 발생 토크 : $1.2 \times 10^5 \text{ Nm}$

블레이드 직경: 88m

블레이드 하나당 질량 : 7.9ton

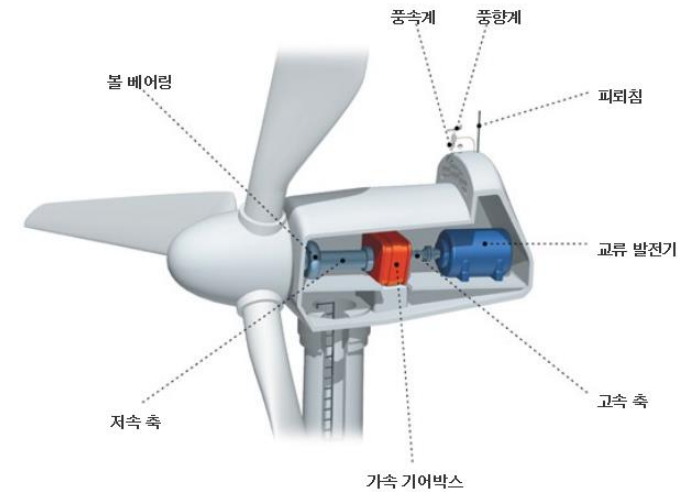
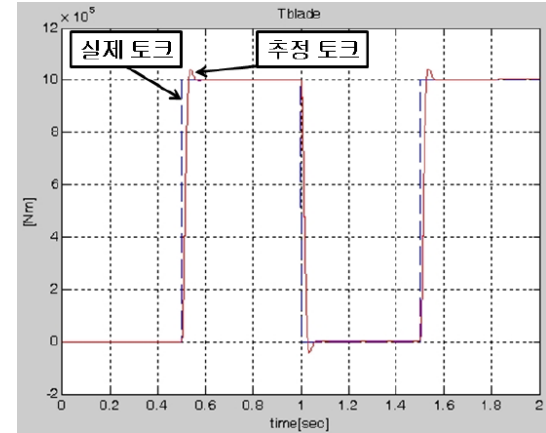
기둥 길이: 76.9m

기둥 무게: 170ton

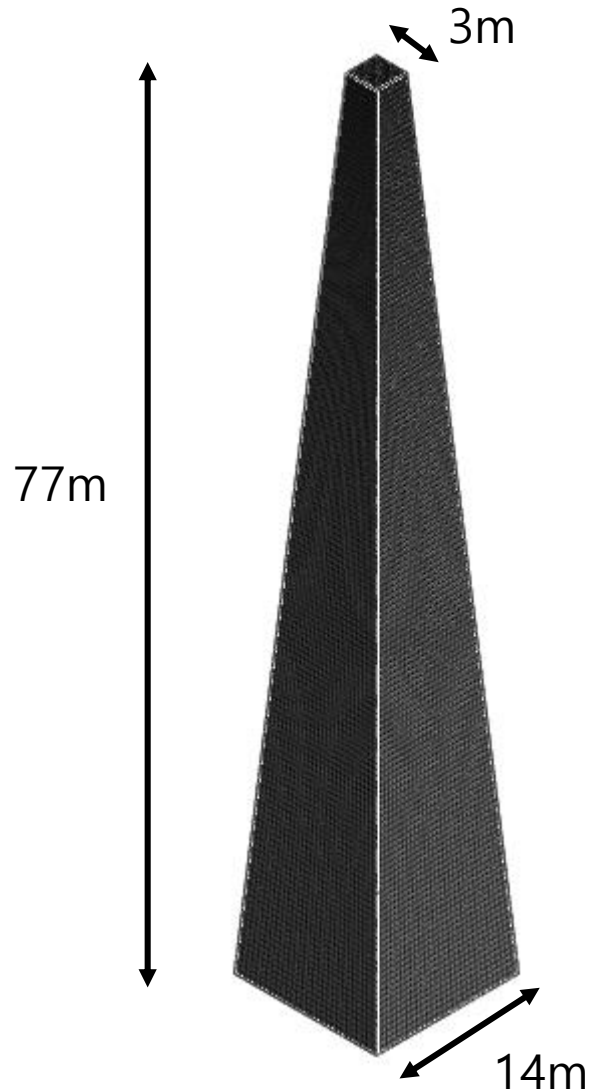
기둥 상단부 직경 : 3m

발전기 상단부 질량 : 41ton

(블레이드 3개, 발전시스템 17.3ton)



● 초기모델 설정



재료물성치

$E = 210\text{GPa}$, $\nu=0.3$, density = $7800\text{kg}/\text{m}^3$

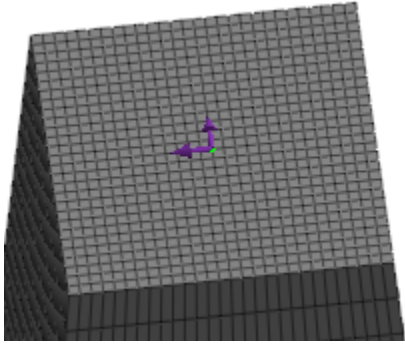
크기

정사각형 밑변 : 14m , 윗변 : 3m , 길이 77m

모델

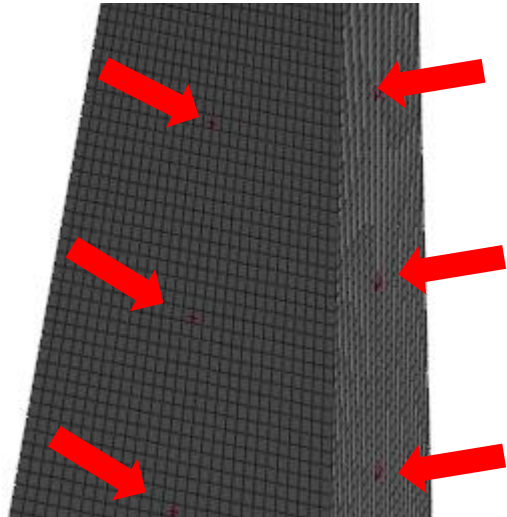
3D Solid Model

구속조건, 하중 부여



$$\begin{aligned} \text{상단부 하중} &= - \text{상단부 질량} \times \text{중력가속도} \\ &= -41000\text{kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = -402210 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{토크 하중 (X,Y 축)} = 1.2 \times 10^6 \text{ Nm}$$



풍하중

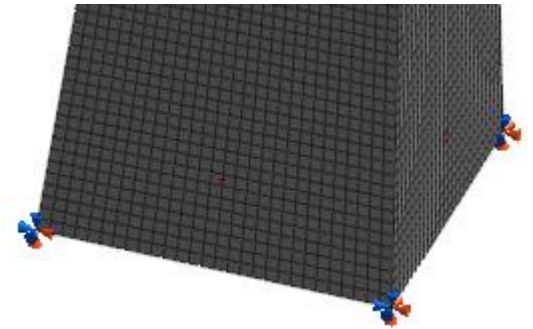
$$F_{wind} = \frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times V^2 \times A$$

$$\rho = 1.225\text{kg/m}^3 \text{ (공기밀도 - 도로교설계기준)}$$

$$C_d = 1 \text{ (항력계수)}$$

$$V = 10\text{m/s} \text{ (바람 속도)}$$

$$A = \text{면적}(\text{m}^2) \text{ 7등분하여 면적계산}$$



모서리 4개 고정 구속

위상최적화

최적화 종류 선형 정적해석 기반 위상최적화 컴플라이언스 최소화

해석 제어

최적화 제조조건 접촉 파라미터

기본 최적화 변수

체커보드 저장 중간

수렴기준 / 오류오차

목적함수 오차 0.005

설계변수 오차 0.01

중간 결과 출력 방법

마지막 반복 N 1

다중 하중 케이스(서브케이스) 평균(전체 서브케이스)

설계 제약조건

목표 부피(%) 30

최적화 제조조건 접촉 파라미터

성형방향

종류 단방향

참조좌표계 전체직교좌표계

방향선택 X

자동으로 정의된 중앙면 사용

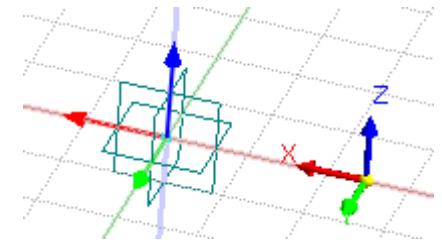
반복조건

종류 대칭면

참조좌표계 전체직교좌표계

면대칭

XY YZ XZ



컴플라이언스 최소화, 목표부피 30%, 제조조건 YZ,XZ평면 면대칭으로 위상최적화 수행

위상최적화 결과

최적설계 모델생성

해석 케이스: twice final final

스텝: TOPOLOGY_RESULT:ITER= 1:

재료밀도: 0.01, 0.4308, 1

부피계산: 계산

최적화 전 부피: 6.33143333e+012 m³

최적화 후 부피: 1.92967799e+012 m³

감소율: 70 %

결과 요소망: 해석 모델 (요소망, 재료/특성, 하중/경계)

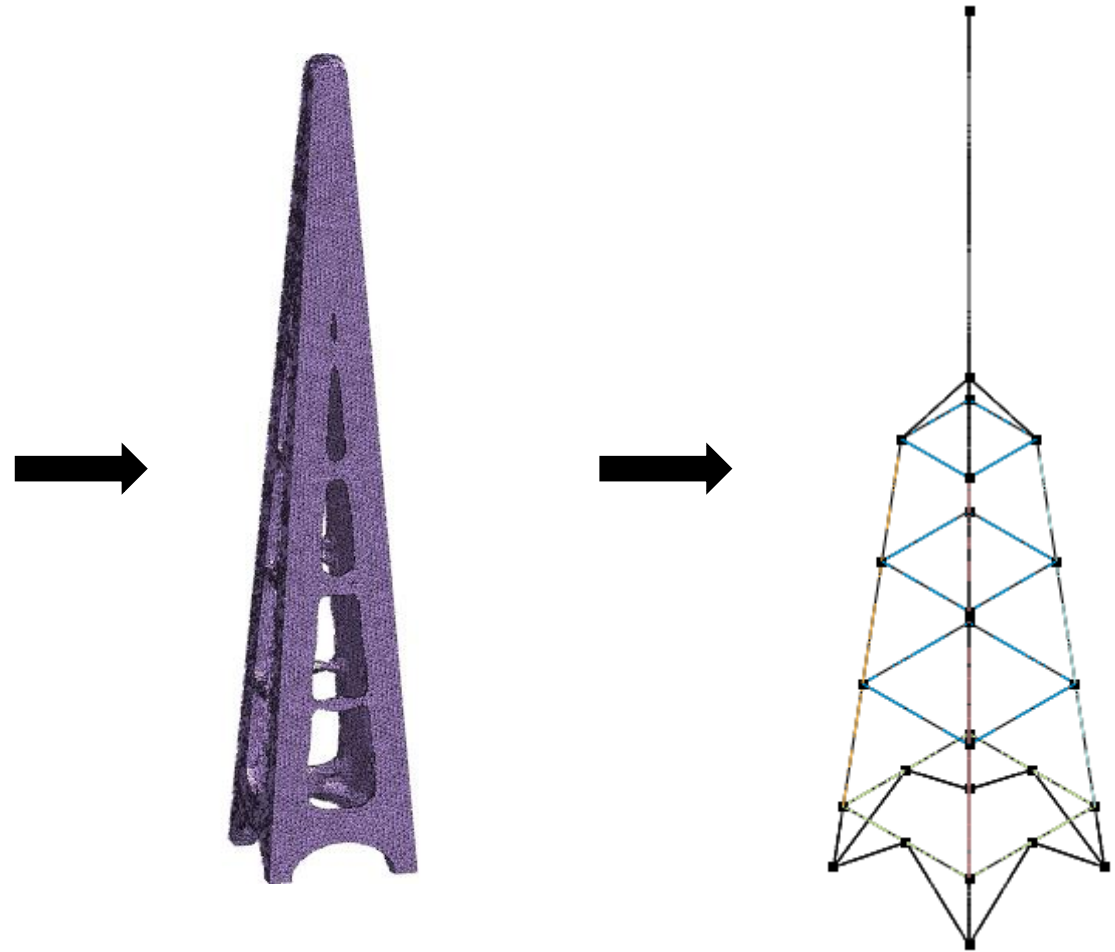
요소 크기: 0 m

기준절점과 병합: 공차 1e-005

모델 파일 경로: _Optimizedbase pylon final point load twice

STL 파일로 출력, 확인, 취소

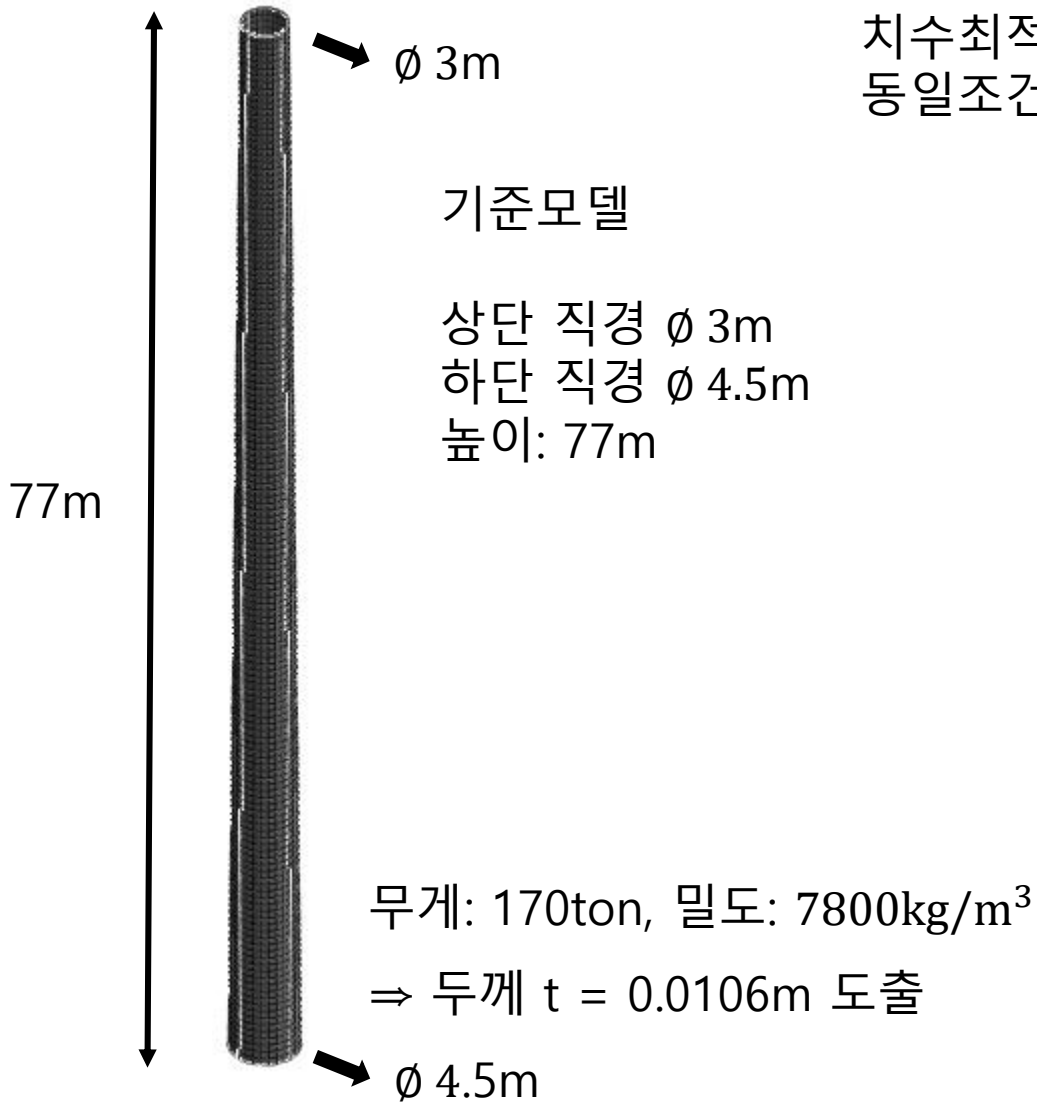
최적화 후 부피 = $1.929 \times 10^{12} m^3$



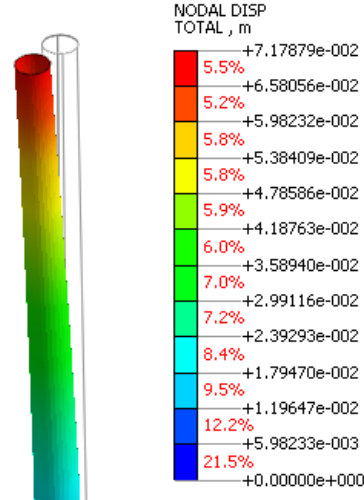
최적모델 생성

치수최적화를 위한 1D 모델

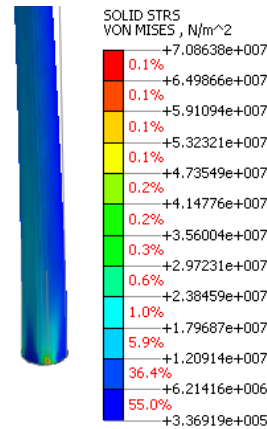
● 기준 모델 해석



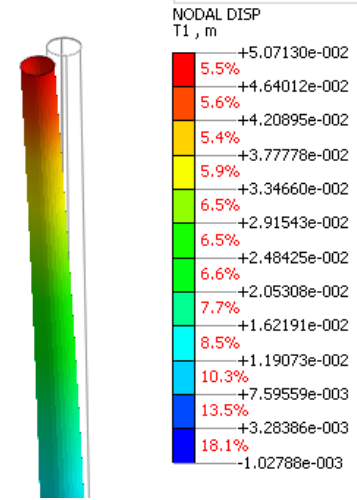
치수최적화를 위한
동일조건 해석수행



최대 변위 = $7.178 \times 10^{-2}\text{m}$

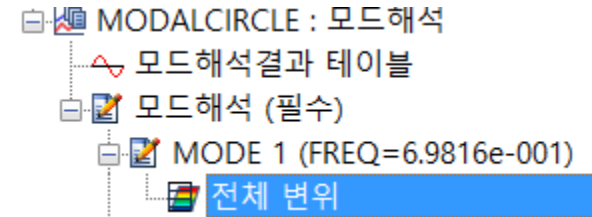


최대 응력 = $7.086 \times 10^7 \text{N/m}^2$



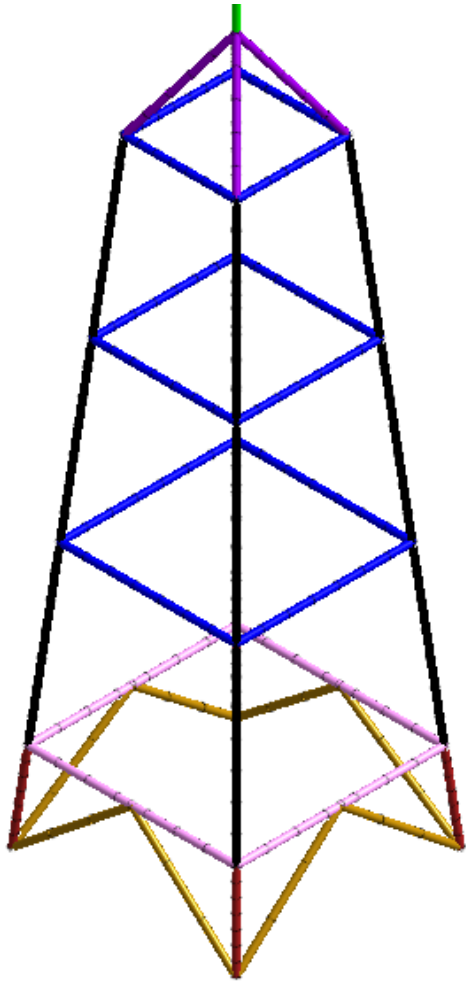
최대 X방향 변위 = $5.071 \times 10^{-2}\text{m}$

<모달 해석>



1차 고유진동수 = 0.698Hz

1D 모델

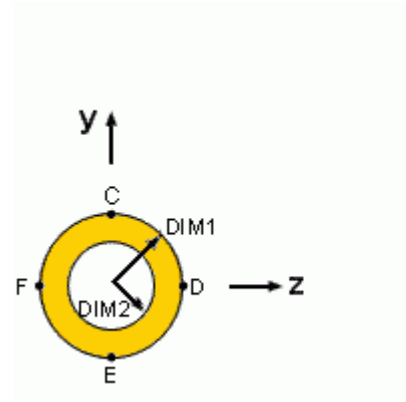


1층 기둥, 1층 보
 1층 보강재
 2/3/4층 기둥
 2/3/4층 보
 탑 보강재, 탑
 7가지 1D 바 특성생성

- ☑ 센서
- ☑ x
- ☑ y
- ☑ z
- ☑ 부피
- ☑ 응력

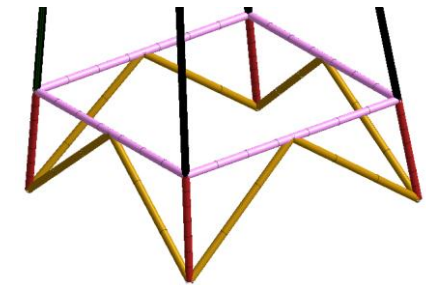


꼭대기 절점 x, y, z 변위 센서
 전체요소 부피 센서
 지면 접촉면 응력센서



Tube	
DIM1	0.2 m
DIM2	0.16 m

초기 단면적
 내경 = 0.2m
 외경 = 0.16m 설정



● 치수최적화

설계세트

번호	이름	최소값	초기값	최대값	변수종류	이산값	설명
▶ 1	5.5보, DIM 1	0.230000	0.240000	0.250000	연속	X	특성, 5.5보, DIM 1
2	5.5보, DIM 2	0.050000	0.160000	0.220000	연속	X	특성, 5.5보, DIM 2
3	5.5기둥, DIM 1	0.230000	0.240000	0.250000	연속	X	특성, 5.5기둥, DIM 1
4	5.5기둥, DIM 2	0.050000	0.160000	0.220000	연속	X	특성, 5.5기둥, DIM 2
5	5.5보강재, DIM 1	0.280000	0.290000	0.300000	연속	X	특성, 5.5보강재, DIM 1
6	5.5보강재, DIM 2	0.250000	0.260000	0.270000	연속	X	특성, 5.5보강재, DIM 2
7	2,3,4보, DIM 1	0.280000	0.290000	0.300000	연속	X	특성, 2,3,4보, DIM 1
8	2,3,4보, DIM 2	0.050000	0.160000	0.270000	연속	X	특성, 2,3,4보, DIM 2
9	2,3,4기둥, DIM 1	0.280000	0.290000	0.300000	연속	X	특성, 2,3,4기둥, DIM 1
10	2,3,4기둥, DIM 2	0.050000	0.160000	0.270000	연속	X	특성, 2,3,4기둥, DIM 2
11	탑보강재, DIM 1	0.280000	0.290000	0.300000	연속	X	특성, 탑보강재, DIM 1
12	탑보강재, DIM 2	0.050000	0.160000	0.270000	연속	X	특성, 탑보강재, DIM 2
13	탑, DIM 1	2.480000	2.490000	2.500000	연속	X	특성, 탑, DIM 1
14	탑, DIM 2	0.050000	0.160000	2.470000	연속	X	특성, 탑, DIM 2
*							

내경, 최소 외경차이가 0.01m 가 되도록 설계변수 설정

동일조건 하에 치수최적화 수행

풍하중은 외경을 알 수 없으므로 치수최적화 하중에서 제외
(최적모델에서 부여)

목적함수

번호	이름	설계응답	가중치
▶ 1	목적함수-1	부피	1.000000
*			

목적함수 부피 최소화

제약조건

	설계응답	하한값	상한값
▶ x		-	0.050713
	응력	-	70860000.0
*			

제약조건 : 기준모델 최대
x 방향 변위, 응력

● 치수최적화 결과

최적화 케이스

testtest4

설계변수 이름	초기값	최소값	최대값	설계안 1	설계안 2	설계안 3	사용자 설계안
입 력							
▶ 5.5보, DIM 1	0.24	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
5.5보, DIM 2	0.16	0.05	0.22	0.2	0.21	0.21	0.2
5.5기둥, DIM 1	0.24	0.23	0.25	0.24	0.23	0.23	0.24
5.5기둥, DIM 2	0.16	0.05	0.22	0.21	0.18	0.2	0.21
5.5보강재, DIM 1	0.29	0.28	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5.5보강재, DIM 2	0.26	0.25	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
2,3,4보, DIM 1	0.29	0.28	0.3	0.3	0.28	0.28	0.3
2,3,4보, DIM 2	0.16	0.05	0.27	0.23	0.25	0.26	0.23
2,3,4기둥, DIM 1	0.29	0.28	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
2,3,4기둥, DIM 2	0.16	0.05	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
탑보강재, DIM 1	0.29	0.28	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
탑보강재, DIM 2	0.16	0.05	0.27	0.23	0.24	0.24	0.23
탑, DIM 1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
탑, DIM 2	0.16	0.05	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

출 력 (예상값 / 해석값)

목적함수 변화율 (%)	0				-84		-87		-86		
제약조건 최대위배율 (%)	0				0		0		0		
목적함수-1	7.7e+002				1.3e+002		99		1e+002		
제약조건-2	0.014			0.051	0.017		0.017		0.018		
제약조건-3	6.1e+006			7.1e+007	8.2e+006		7.6e+006		7.8e+006		

설계안 1 채택, 최적모델 부피 = $130m^3$ 중량 = $7800kg/m^3 \times 130m^3 = 1014ton$

● 최적화모델과 기존모델 비교

평가 기준	기존 모델	최적 모델	증감율
중량	170ton	1014ton	+496.47%
최대 변위	$5.07 \times 10^{-2}m$	$2.26 \times 10^{-2}m$	-55.42%
최대 응력	$7.086 \times 10^7 N/m^2$	$1.494 \times 10^7 N/m^2$	-78.91%
1차 고유진동수	0.698Hz	0.706Hz	+1.14%

● 결과 분석 및 고찰

결론 : 최대변위, 응력, 1차 고유 주파수 등 안정성항상이 있었지만 중량에서 너무 많이 증가해 경제성에서 불리

- 풍하중을 1개 혹은 2개의 절점에 집중 부여해 위상최적화에서 보통의 철골형 기둥의 형태가 나오지 않음 (보통 철골 구조에는 바람의 영향보다는 토크 및 하중을 견디게 설계될 것 이라 추측)
- 치수최적화 설계변수 설정 시 내경의 최대값은 외경의 최소값을 넘지못하게 설정 해야함 ⇒ 치수 최적모델 설계 자유도가 극히 제한됨



감사합니다

