차체구조 term project
2017. 12. 11 (월)

Design Optimization of Towercrane using NFX topology

NFX 위상최적설계를 이용하여 타워크레인 최적설계

Sangin Choi
Optimum Design Lab.
Department of Automotive Engineering
Hanyang University, Seoul, Korea

Introduction

- 고층화, 대형화, 기계화되는 건설현장 여건상 타워크레인에 대한 의존은 절대적
- 끊이지 않는 타워크레인 관련사고, 올해 17명 사망· 42명 부상
- 지난 5월, 정부에서 이례적으로 타워크레인 작업 위험경보 발령
- 기둥 내부의 구조적 결함, 소통의 부족, 장비의 노후화, 규격 이하의 부품 사용 등으로 인해 크레인 사고 발생

올해 국내 주요 **크레인 관련 사고 일지**

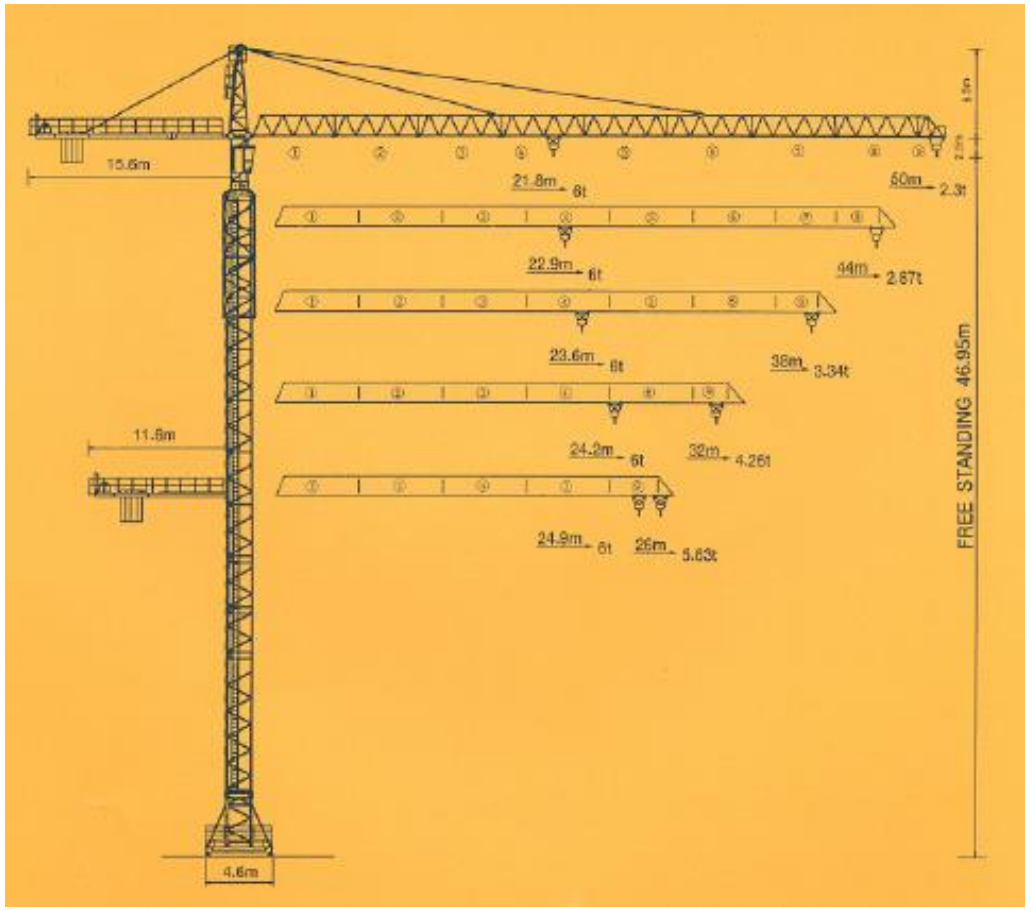
4월21일	울산 에쓰오일 타워크레인 전도 사고. 1명 사망. 4명 부상.
5월1일	경남 거제 삼성중공업 크레인 충돌 사고. 6명 사망. 25명 부상.
5월22일	경기 남양주 다산신도시 크레인 사고. 2명 사망. 3명 부상.
6월15일	부산 해운대 숙박시설 건설현장 타워크레인 사고. 3명 부상.
10월10일	경기 의정부 아파트 공사장 크레인 사고. 3명 사망. 2명 부상.
11월9일	전주 완산 크레인 사고. 2명 사망.
12월9일	인천 중구 오피스텔 공사장 크레인 사고. 1명 부상.
	경기 용인 물류센터 신축공사장 타워크레인 전도. 3명 사망. 4명 부상.

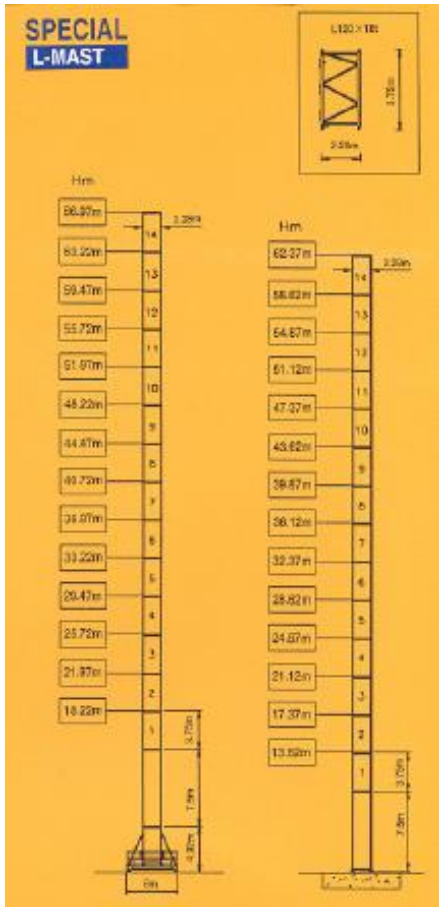
올해 주요 크레인 사고

용인 크레인 붕괴 사고

Background

- 타워크레인 기둥부분은 같은 mast로 구성
- 하지만 높이에 따라 타워크레인의 기둥부분에 응력차이가 존재





타워크레인의 구조 (KTC506)

Background

- 타워크레인의 재료는 타워크레인의 구조 · 규격 및 성능에 관한 기준[1)] 제3조 1항에 따라 일반구조용 압연강재 ST52-3 사용
- 타워크레인 강재계산과 허용응력은 타워크레인의 구조 · 규격 및 성능에 관한 기준 제4조, 제5조에 따라 각 물성치 적용
- ST52-3의 항복점(σ_e)은 353.04N/mm^2

종탄성 계수(E)	206,000N/mm^2
포와송 비(v)	0.3
비중	7.85
허용인장응력(σ_{ta})	$\sigma_e/1.5$
허용압축응력(σ_{ca})	$\sigma_{ta}/1.15$

타워크레인 재료 물성치

ITEM	QUANTITY	DESCRIPTION	LENGTH (M)	WIDTH (M)	HIGTH (M)	UNT WEIGTH(KG)	TOTAL WEIGTH(KG)
1	1	BASIC MAST	10	1.9	1.9		3520
2	10	MAST	3.75	1.9	1.9	1180	11800
3	1	TELESCOPIC CAGE	8.88	2.4862	2.4484		5460
4	1	SLEWING UNIT	0.967	1.402	1.402		3648
5	1	CABIN MAST	3.809	1.370	1.35		1278
6	1	CABIN	2.0	1.23	1.64		300
7	1	TOWER HEAD	6.340	1.4	1.36		1300
8	1	COUNTER-JIB(A)	4.060	1.34	0.55		830
9	1	COUNTER-JIB(B)	9.925	1.34	0.55		1800
10	1	JIB SECTION(1)	6.0	1.3	1.574		765.1
11	7	JIB SECTION(2~8)	6.0	1.3	1.574		4022.6
12	1	JIB END	2.0	1.3	1.457		204.5
13	1	TROLLEY	1.9	1.53	0.82		350
14	1	HOIST WINCH	1.81	1.545	1.35		1800

타워크레인 제원표 (KTC506)

1) 국토교통부, http://www.molit.go.kr/USR/I0204/m_45/dtl.jsp?idx=13687

Background

- 국내 고도 50m 에서 최고 평균풍속은 7.9m/s
- 타워크레인 설계 때 풍속은 10m/s라 가정

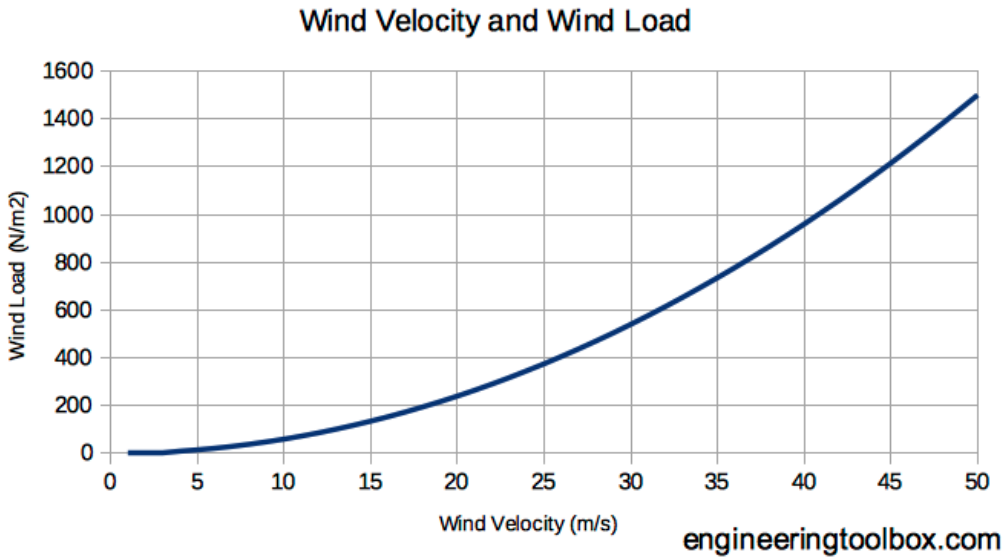
평균풍속 순위 | 지역별 통계

평균기간 연평균 ▼ 확인 고도 50m ▼ 확인 순위 10위 ▼ 확인

※ 5년간 평균값(2005~2009)

순위	지점번호	지점명	평균풍속 (m/s)	풍속 5m/s 이상 비율 (%)	주풍향	주풍향 빈도 (%)	5m/s 이상 주풍향 빈도수 (%)	순간최대풍속 25m/s 이상	
								건수	비율(%)
1	185	고산	7.9	74.6	북	33.8	29.5	1561	3.7
2	554	미시령	7.9	67.7	서	25.0	21.8	3156	7.5
3	726	마라도	7.7	75.5	북서	24.4	21.1	1334	3.2
4	961	간여암	7.7	75.0	북서	20.9	17.6	267	1.9
5	160	부산(레)	7.6	80.3	서	26.2	22.3	1827	4.3
6	798	홍도	7.4	66.8	북서	34.3	26.8	1012	2.4
7	316	무등봉	7.3	69.8	북	26.0	18.5	845	2.0
8	39	정보없음	7.2	74.3	북	51.0	42.8	0	0.0
9	41	정보없음	7.1	82.9	북	35.5	32.5	1	0.1
10	175	진도(첨찰산)	7.0	78.2	북서	26.5	23.6	159	0.4

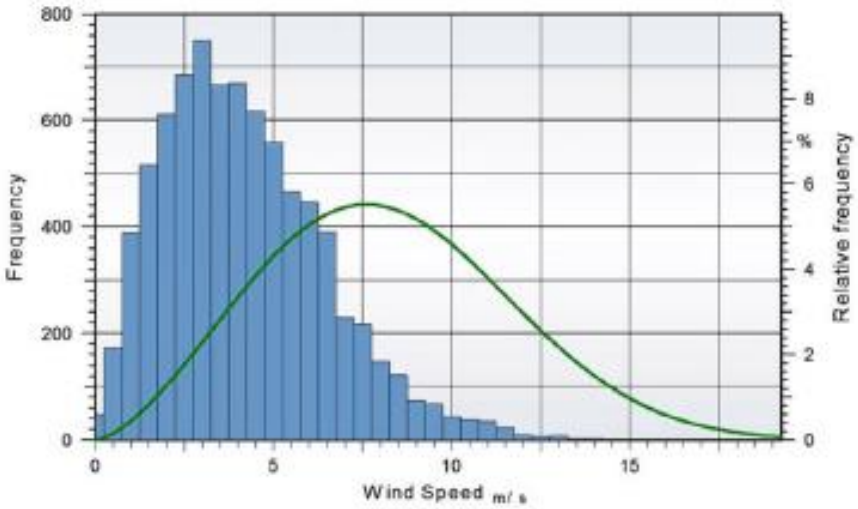
국내 고도 50m 풍속 통계



풍속에 따른 풍압 그래프

Background

- 바람은 풍속에 따라 ~750Hz의 진동수를 가짐
- 위상최적설계 후 바람에 의한 공명현상이 일어나지 않는지 확인하기 위해 모드분석 실행

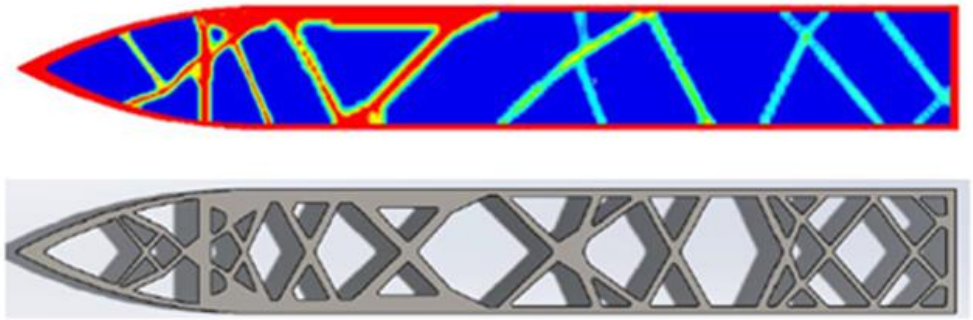


풍속에 따른 진동수[1)]

1) JONG KUK LEE et. al., "ASSESSMENT OF WIND CHARACTERISTICS AND ATMOSPHERIC DISPERSION MODELING OF $137Cs$ ON THE BARAKAH NPP AREA IN THE UAE, 2014

Background

- 위상최적화 기법을 이용하여 3차원 인쇄 방법으로 제작되는 관통 탄두의 구조설계 수행
- 정적 해석을 바탕으로 위상최적화 수행
- 한쪽 면에 충격을 받았을 때를 가정한 후 위상최적설계 후 대칭 시켜 탄두 설계
- 타워크레인은 JIB 부분이 360º로 돌아가며 하중 작용
- 선형 정적해석 기반 위상최적설계를 통해 나온 구조를 대칭 시켜 모든 범위에서 하중을 지탱할 수 있는 타워크레인 설계



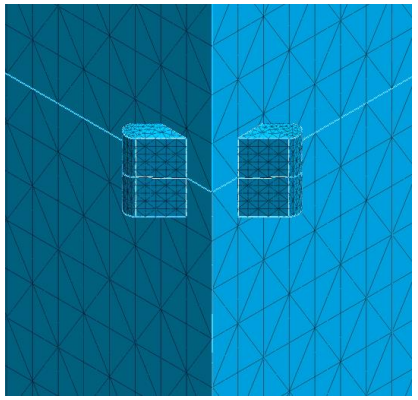
위상최적화 기법을 이용한 탄두의 구조 설계[1)]

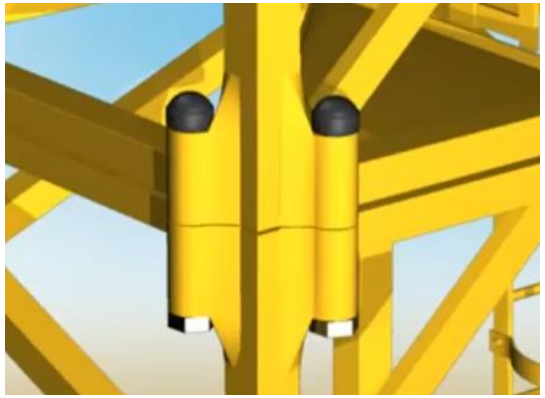
1) Wiliam T. et.al., "Topology Optimization of a Penetrating Warhead" 57th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 2016

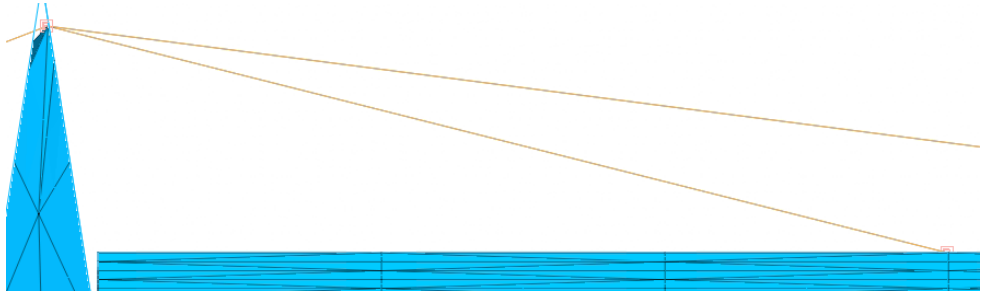
Design Tower crane

- 초기모델링

타워크레인 전체 모델링



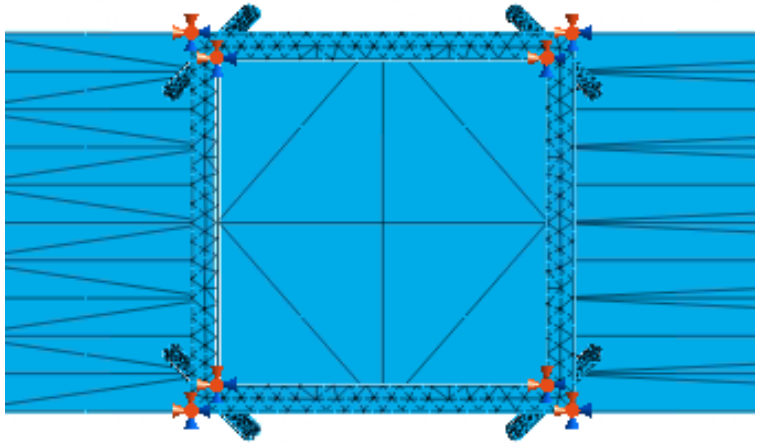


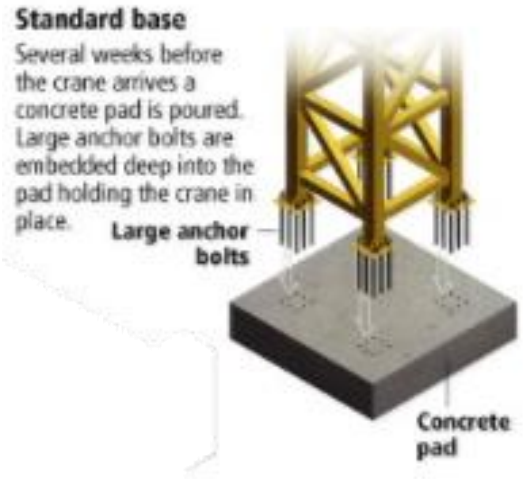


타워크레인 세부 모델링

Design Tower crane

- 구속조건 및 하중조건

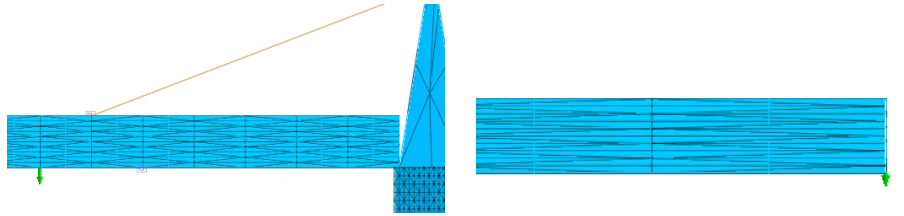


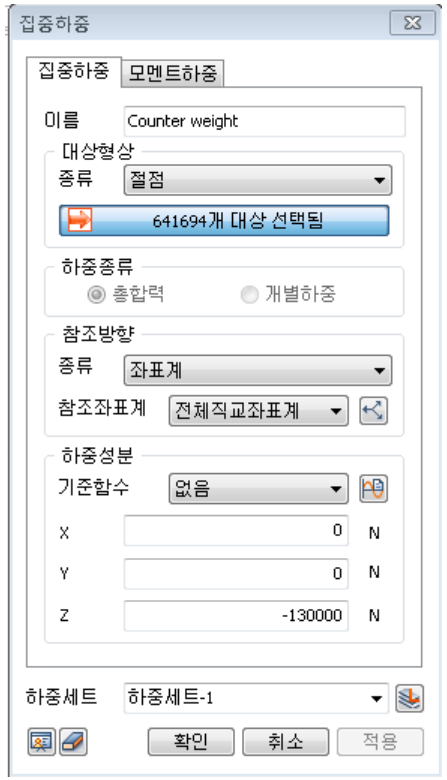


타워크레인 하부 고정구속

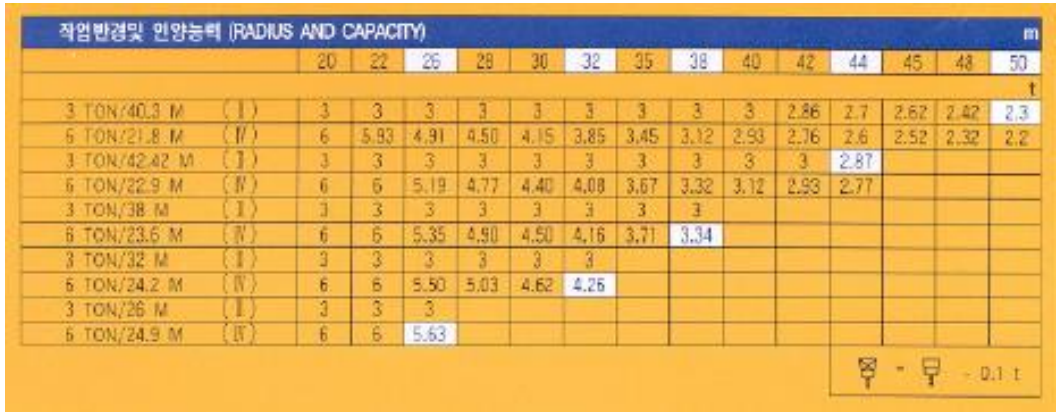
Design Tower crane

- 구속조건 및 하중조건





JIB구조에 집중하중 작용



작업반경및 인양능력 (RADIUS AND CAPACITY) m

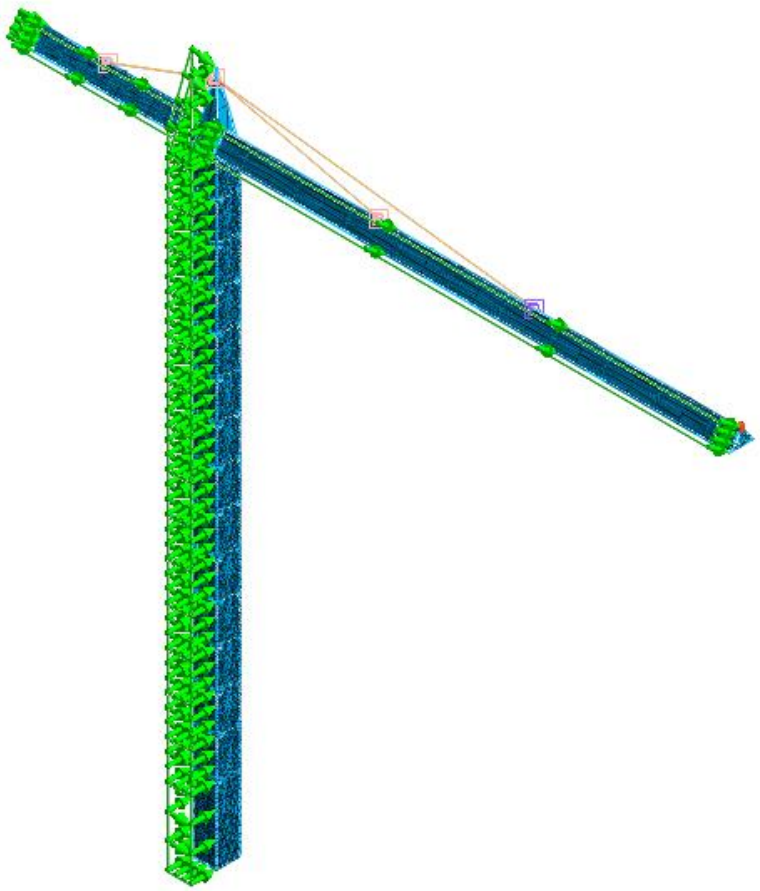
		20	22	26	28	30	32	35	38	40	42	44	45	48	50
															t
3 TON/40.3 M	(I)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2.86	2.7	2.62	2.42	2.3
6 TON/21.8 M	(IV)	6	5.93	4.91	4.50	4.15	3.85	3.45	3.12	2.93	2.76	2.6	2.52	2.32	2.2
3 TON/42.42 M	(I)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2.87			
6 TON/22.9 M	(IV)	6	6	5.19	4.77	4.40	4.08	3.67	3.32	3.12	2.93	2.77			
3 TON/38 M	(I)	3	3	3	3	3	3	3	3						
6 TON/23.6 M	(IV)	6	6	5.35	4.90	4.50	4.16	3.71	3.34						
3 TON/32 M	(I)	3	3	3	3	3	3								
6 TON/24.2 M	(IV)	6	6	5.50	5.03	4.62	4.26								
3 TON/26 M	(I)	3	3	3											
6 TON/24.9 M	(IV)	6	6	5.63											

- 0.1 t

작업반경에 따른 인양능력(Limit load)

Design Tower crane

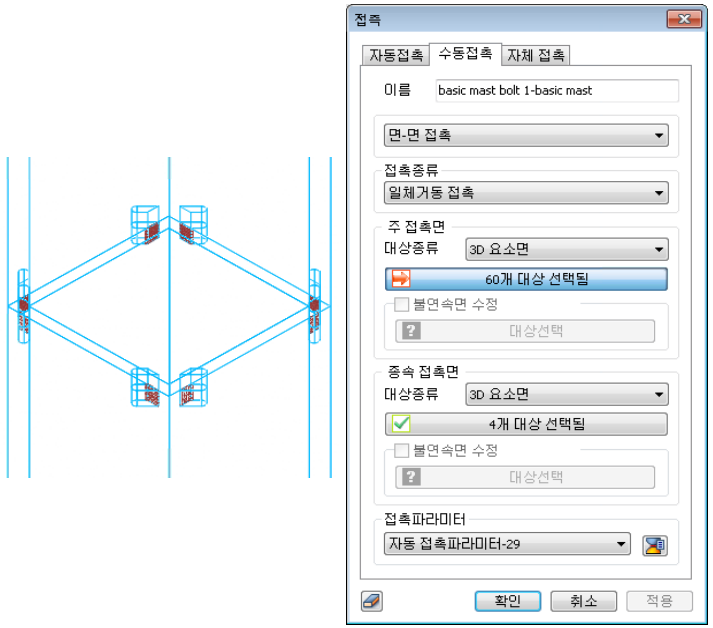
- 구속조건 및 하중조건



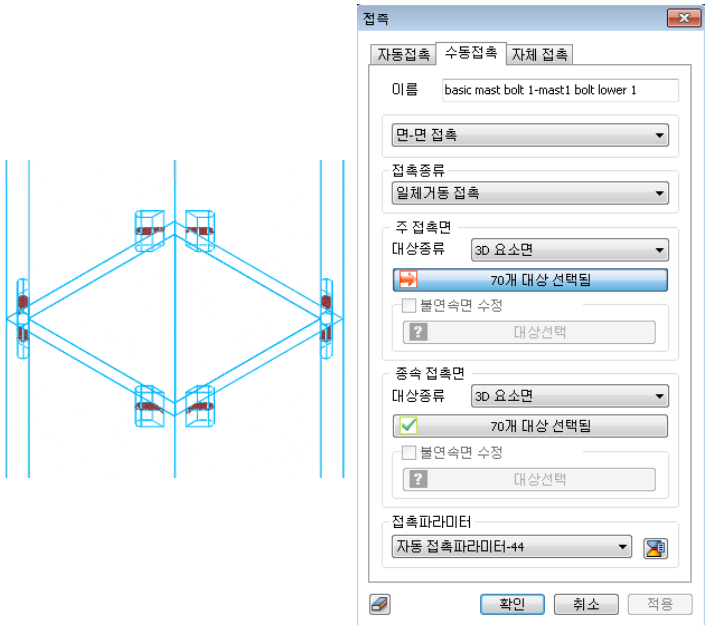
X, Y 방향으로 풍압 작용

Design Tower crane

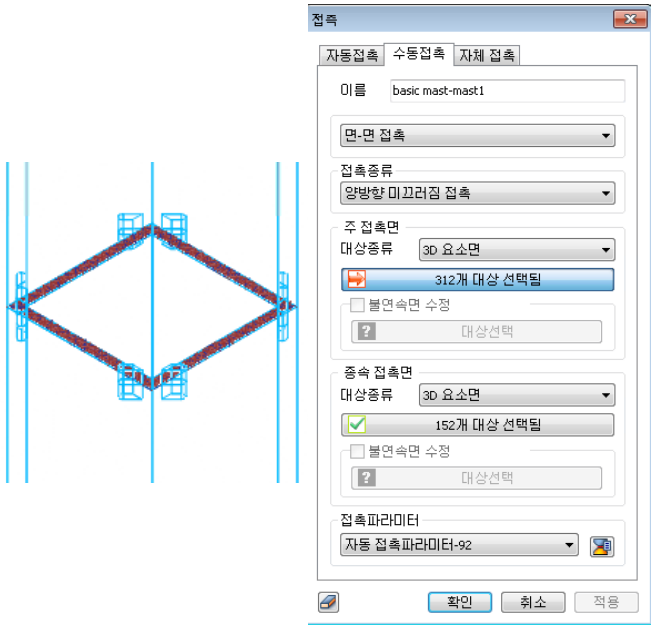
- 접촉조건



Mast-mast bolt 일체거동접촉



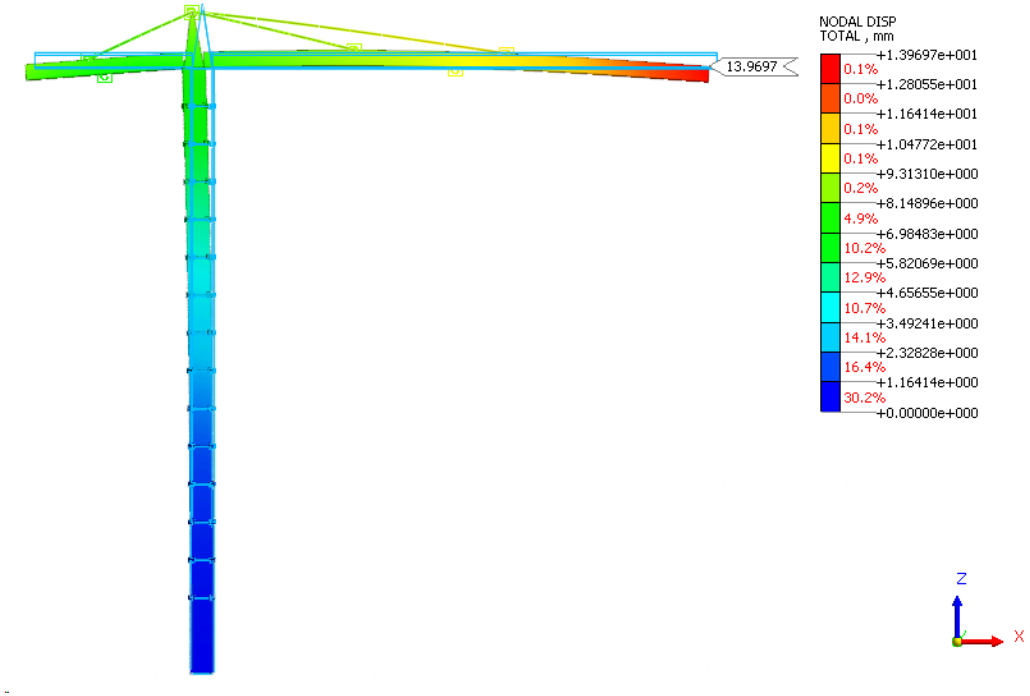
Lower bolt-upper bolt 일체거동접촉



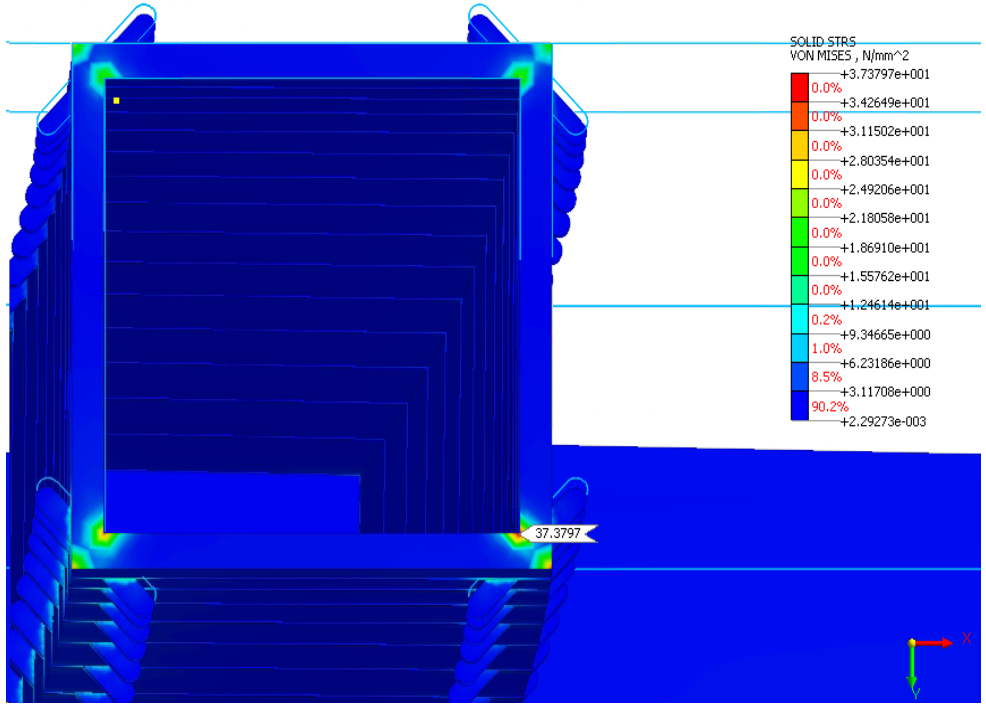
Mast-mast 양방향 미끄러짐 접촉

Design Tower crane

- 선형 정적해석 수행



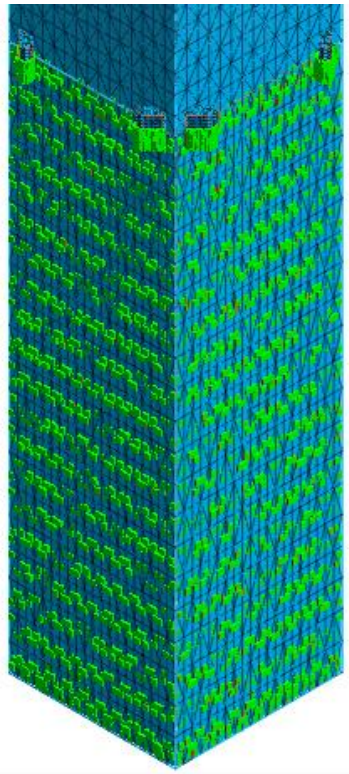
전체 변위

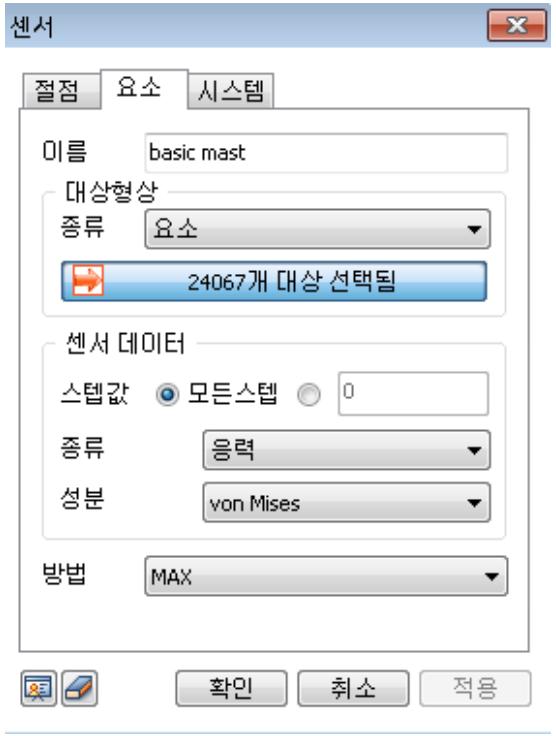


von-Mises 응력

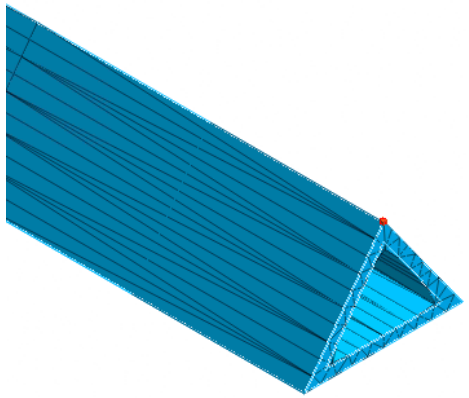
Design Tower crane

- 센서





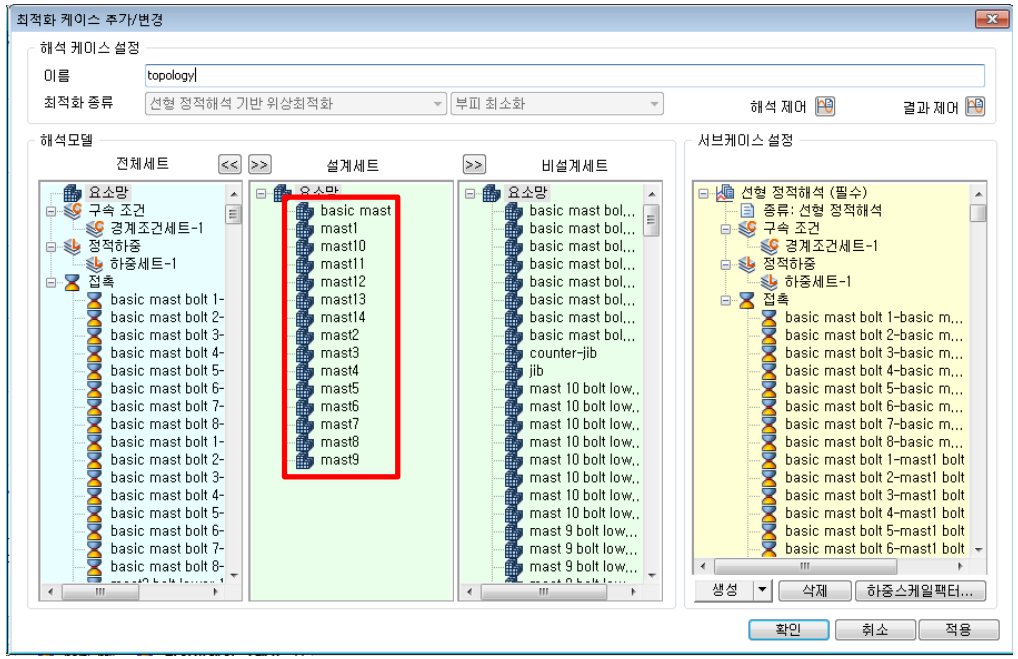
응력 측정 요소 센서 생성

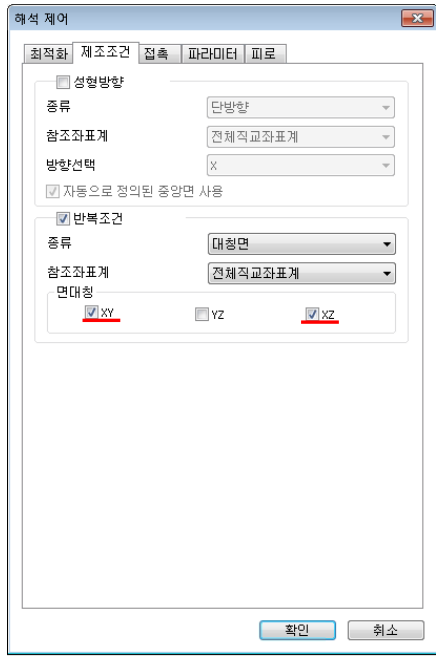


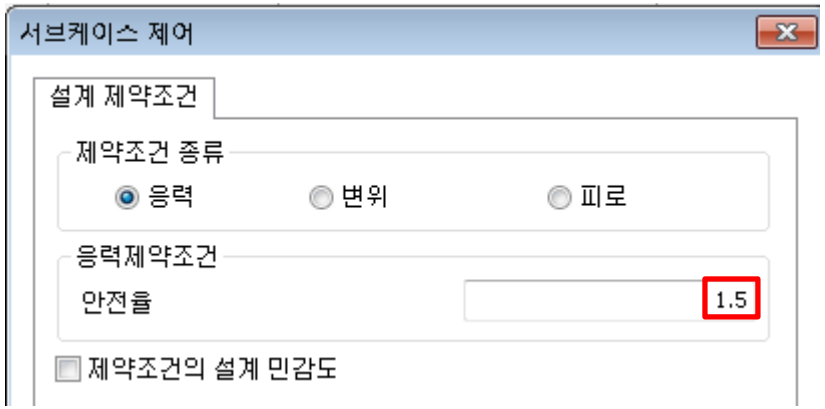
변위 측정 절점 센서 생성

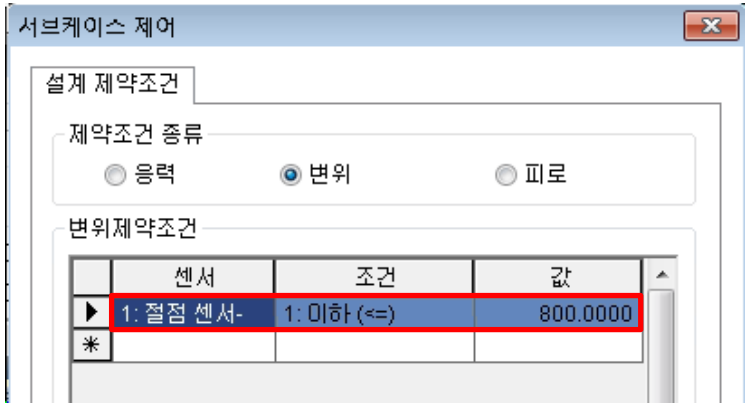
Design Tower crane

- 위상최적화



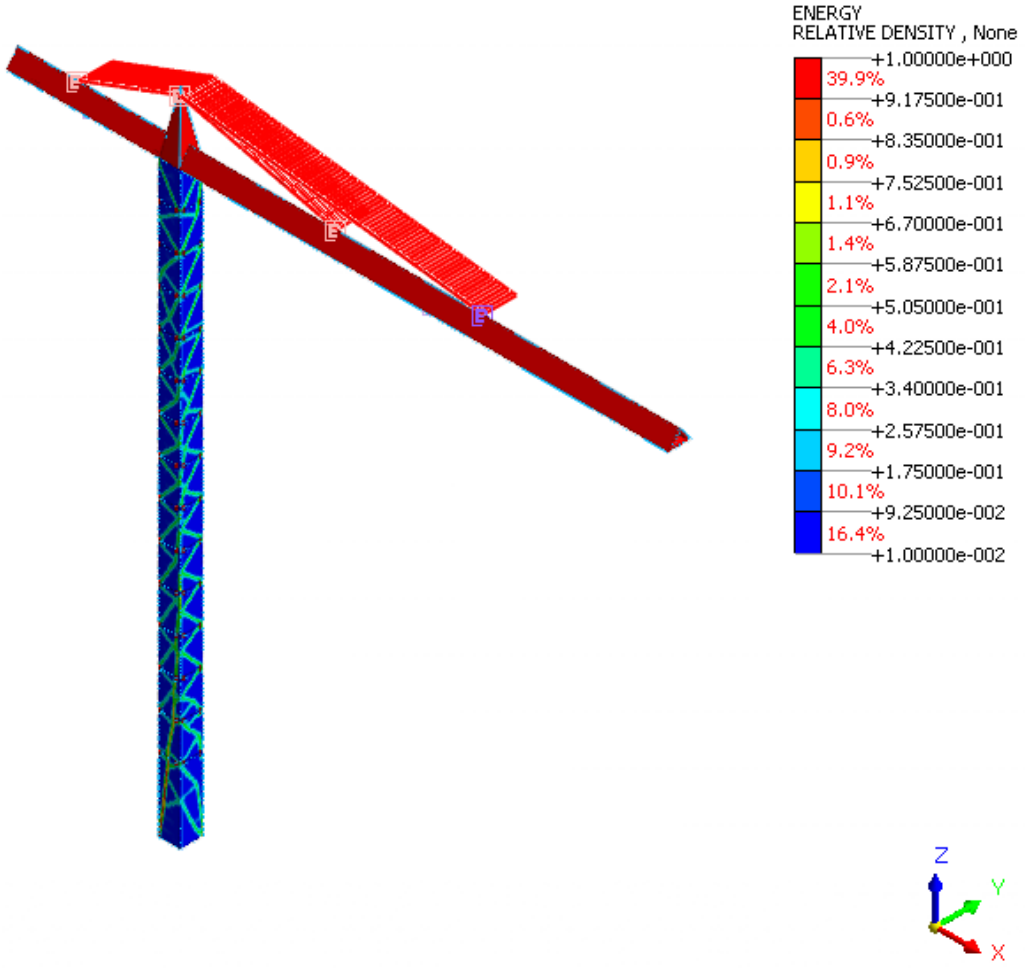






Design Tower crane

- 위상최적화

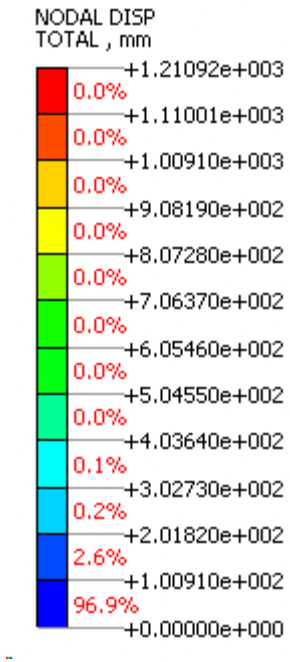


Design Tower crane

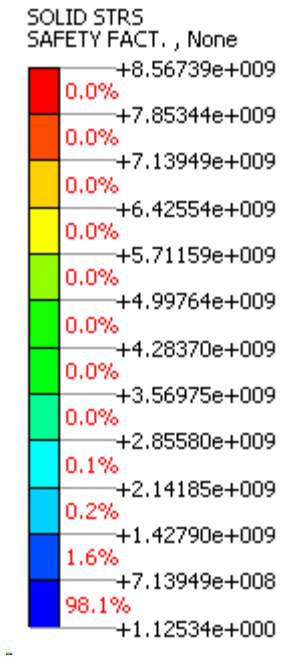
- 위상최적화

Design Tower crane

- 위상최적화



전체 변위



솔리드 요소 안전율

Conclusion

- 다양한 방향에서 작용하는 하중과 풍압을 고려하지 못해 비교적 단순한 모델 생성
- 타워크레인의 질량을 무게중심에 작용하는 집중질량으로 설정했기 때문에 실제 설계와 차이가 존재
- 위상 최적시 목표인 안전율 1.5를 만족하지 못했지만 타워크레인이 인양할 수 있는 최대 하중을 가정했고, 풍속도 국내 평균풍속보다 빠른 상태를 적용했을 때 안전율이 1이상(1.13) 나왔기 때문에 신뢰성 있는 설계라고 판단
- 원래는 mast 마다 다르게 설계하려 했지만 5번째 mast 부터 14번째 mast 까지 거의 같은 모양의 mast 설계
- 추가적인 후처리 작업 필요

Reference

- JONG KUK LEE et. al., “ASSESSMENT OF WIND CHARACTERISTICS AND ATMOSPHERIC DISPERSION MODELING OF $137Cs$ ON THE BARAKAH NPP AREA IN THE UAE, 2014
- Wiliam T. et.al., “Topology Optimization of a Penetrating Warhead” 57th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 2016