

## 하중을 받는 타워크레인의 구조 안전성 해석

조재웅<sup>1\*</sup>, 김세환<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>공주대학교 기계자동차공학부

### Analysis on the Structural Safety of the Tower Crane under Load

Jae-Ung Cho<sup>1\*</sup> and Sei-Hwan Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

**요약** 본 연구에서는 타워크레인의 지브 끝에 하중을 주고 마스트에 모멘트를 주어 그에 따른 변형 해석을 수행하여 다음과 같은 해석 결과를 보았다. 지브를 지지하고 있는 와이어의 끝 부분에서 응력이나 변형이 가장 많이 일어날 수 있었고 하중이 작용하는 지브의 끝 부분에서 변형이 많이 일어나고 마스트 밑 부분은 변형이 없는 것으로 나타났다. 또한 마스트의 윗부분에서 가장 수명이 짧아져서 가장 취약함을 알 수 있었다. 이러한 크레인의 구조 해석 결과를 통하여 그 안전 설계 및 내구성을 향상할 수 있다고 사료된다.

**Abstract** In this study, the deformation analysis is done at tower crane by applying the load at the end of jib and the moment at mast. The greatest strain and stress are happened at the end of wire supporting jib. The great deformation takes place at the end of jib applied by stress and there is no deformation at the lower part of mast. As the life becomes smallest at the upper part of mast, this part becomes weakest. The safety design and durability can be improved by applying the result of structural safety analysis at tower crane.

**Key Words** : Tower Crane, Mast, Jib, Wire, Structural Safety

### 1. 서론

공사현장에서 볼 수 있는 타워크레인은 높은 위치까지 무거운 자재를 이동시키는 건설기계이다. 이는 무거운 하중을 견뎌낼 수 있는 트러스 구조를 기반으로 설계되어 있다. 그리고 사고사례를 통해 중요성을 이해하고, 그에 따라 필요한 실행을 하고 있다. 크레인[1,2]은 제조, 건설, 운송업 등 많은 분야에서 널리 사용되어 무거운 자재를 옮길 수 있는 편리한 기계인데, 이 크레인 중에서도 탑처럼 생긴 고정식 크레인인 타워크레인(tower crane)은 항만 하역용이나 고층 건축용으로 발달하여 조선소에 설치하고, 초고층 빌딩이나 아파트 건설현장에서 많이 사용된다. 플랜트 공사에서는 벌크(bulk) 작업과 스푼 홀딩(spool holding) 등에 많이 쓰인다.



[사진 1] 타워크레인의 상세도

사진 1과 같이 꼭대기 부분의 모양에 따라 지브 형(jib

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0075368).

\*교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

접수일 10년 09월 01일

수정일 10년 09월 14일

게재확정일 10년 10월 15일

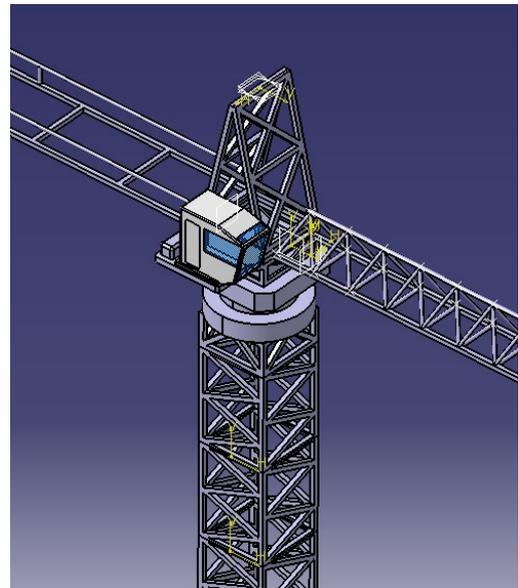
type)과 해머 헤드 형(hammer head type)으로 나눈다. 지브(팔 모양으로 돌출된 것) 형은 탑 꼭대기에 회전 프레임 설치하고 지브를 붙여 회전운동이나 트롤리(trolley)[3]의 직선운동으로써 화물을 끌어올리거나 내리는 작업을 한다. 해머 헤드 형은 탑 꼭대기에 선회 프레임 설치하고 여기에 좌우 평행하도록 붐(boom)을 장치한 것으로서 하중의 이동이 수평으로 이루어진다.

타워크레인의 여러 위험요소 중에서도 인양물을 들어 올리기나 내리는 권상, 권하 동작 작업 시에 크레인을 지지하고 높이를 연장하는 역할을 하는 마스트(mast)[4]의 손상으로 인한 크레인 붕괴의 원인에 대해 알아보기 위해 크레인을 모델링하고 해석하였다.

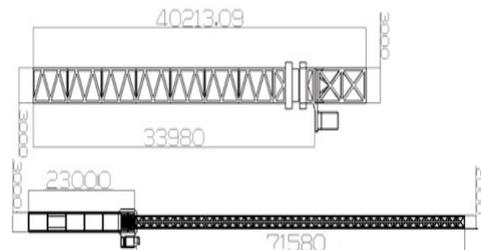
타워 크레인 붕괴는 일상적인 작업하중에 의한 반복하중으로 인하여 피로파괴를 일으키며, 작은 균열이 일단 발생되고 나면 이 부분에서 응력집중이 되어 더욱 균열이 성장하고, 마침내 작은 하중에 견디지 못하고 붕괴로 이어지게 된다.

따라서 크레인 붕괴에 가장 큰 영향의 미치는 것은 호이스트의 정격하중[5,6]에 따른 마스트(지지대)를 구성하는 강재의 항복강도이다. 이를 알아보기 위해, 그림 1과 같이 마스트의 바닥과 지면이 닿는 부분을 고정시키고 해석해 보았으며, 더불어 권상하중(hoisting load)[6]에 따른 마스트의 구조해석 및 피로해석을 해보았다.

본 연구에서의 타워크레인의 모델링은 CATIA V5 프로그램을 사용하여 모델링을 하였으며, ANSYS 를 이용하여 구조, 피로해석 및 열 변형 해석을 수행하였다[7,8].



[그림 1] 타워 크레인의 모델

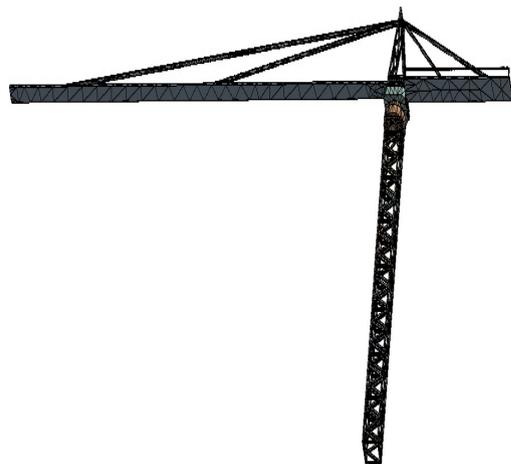


[그림 2] 타워 크레인의 치수 (단위: mm)

## 2. 모델 및 해석

### 2.1 연구 모델

본 연구는 타워크레인이 물건을 들어 올릴 때의 받음 하중과 바람에 의해 생기는 모멘트로 인해 발생하는 변형 해석을 위한 연구로 타워크레인을 단품으로 구성 되어있다. 그림 1은 타워크레인의 모델링이며, 모델의 치수는 그림 2와 같다. 그림 3은 유한요소를 해석하기 위해 많은 절점으로 분리하였다. 모델의 요소의 수와 절점의 수는 각각 21224개 및 53545개씩으로 되어있다.



[그림 3] 타워 크레인의 메시

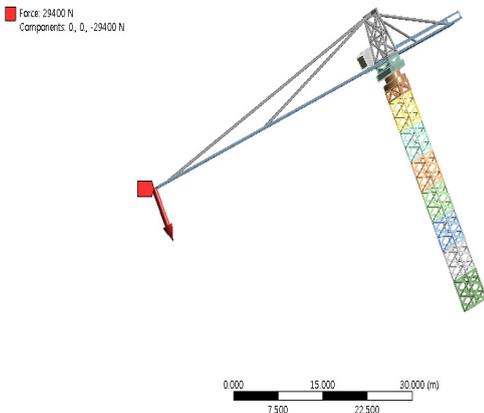
## 2.2 구속 조건

모델링한 마스트의 강재의 물성치는 크레인 제작기준인 산업안전보건법[3]에 명시되어 있는 바와 같이 하여 타워크레인에서 쓰이는 강에 대한 재료의 물성치를 표 1에 나타내었다.

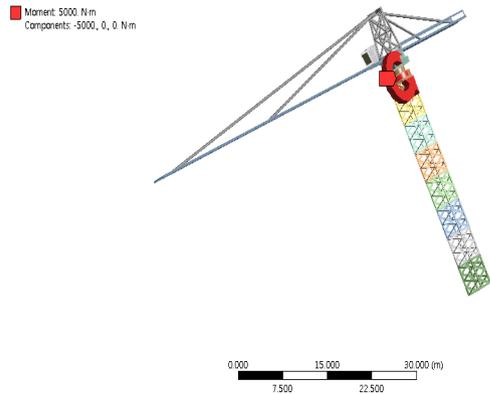
[표 1] 구조용 강의 물성치

| Items                              |            |
|------------------------------------|------------|
| Young's Modulus(MPa)               | 200000     |
| Poisson's Ratio                    | 0.3        |
| Density(Kg/mm <sup>3</sup> )       | 0.00000785 |
| Tensile Yield Strength(MPa)        | 250        |
| Compressive Yield Strength(MPa)    | 250        |
| Tensile Ultimate Strength(MPa)     | 460        |
| Compressive Ultimate Strength(MPa) | 0          |

본 연구는 타워크레인이 물건을 들어 올림에 있어 그림 4와 같이 29400 N의 하중을 주었다. 또한 바람이나 각종 부하요소로 인해 생기는 모멘트를 생각하여 그림 5와 같이 마스트 상부에 5000 Nm를 주었다. 땅에 고정되어 있는 것을 생각하여 타워크레인 마스트[9]의 맨 밑부분 면을 그림 6과 같이 고정 지지대로 고정을 시켰다. 이러한 구속조건들을 표 2와 같이 나타내었다.



[그림 4] 29400 N의 하중 조건



[그림 5] 5000 Nm의 모멘트 조건



[그림 6] 고정지지대 조건

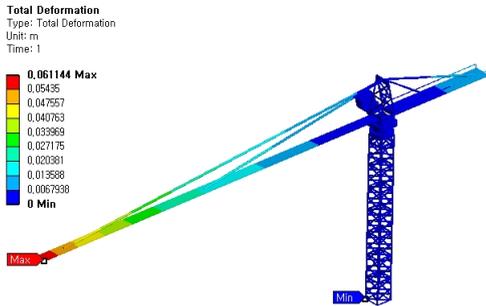
[표 2] 모델의 구속 조건

|               |                                     |
|---------------|-------------------------------------|
| Load(N)       | 29400                               |
| Moment(Nm)    | 5000                                |
| Fixed Support | The Lowest Face of Tower Crane Mast |

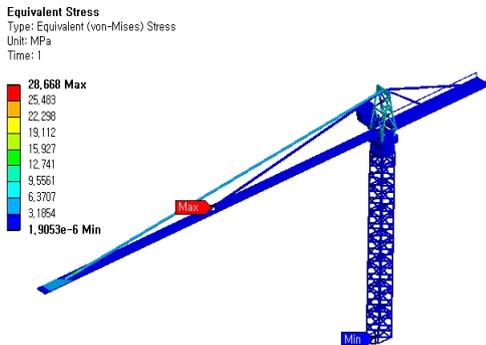
## 2.3 해석 결과

그림 7부터 9까지는 타워크레인에 아무 저항이 없이 체원표를 따라 지브의 길이 70 m에 허용되어지는 하중 29400 N을 주어 하중에 따른 전체적인 변형과 등가응력 및 전단응력 해석을 하였다. 그림 7은 타워크레인이 하중을 받음으로서 변형량을 등고선 결과로 보이는 것으로서 타워크레인 변형량이 0 ~ 0.061144 m로 나타났다. 하중이 작용한 지브 끝부분에서 변화량이 0.061144 m로 가장 많이 변화되어 지는 것을 볼 수 있다. 그리고 마스트 밑 부분은 변화량이 없는 것을 볼 수 있다. 그림 8은 등가

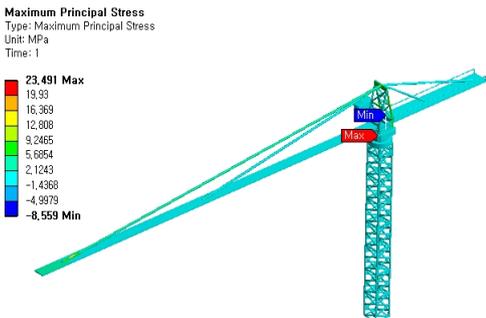
응력을 나타내는 것으로 응력값은 최소 1.9053 Pa부터 최대 28.668 MPa까지 나와 있고 지브를 지지하고 있는 와이어에 최대 응력이 작용하는 것을 볼 수 있다. 그림 9는 전단응력의 등고선으로 최대 전단응력 23.491 MPa로 나와 있고 전단응력도 증가응력과 마찬가지로 지브를 지지하고 있는 와이어에 최대 전단응력이 작용하는 것을 볼 수 있다. 그러나 마스트에 영향을 미치지 않기 때문에 지브 70 m에 따른 허용 하중으로는 마스트가 휘어져서 사고가 날 확률은 적다고 볼 수 있다.



[그림 7] 하중 29400N을 받는 경우에서의 타워크레인의 전변형량 선도

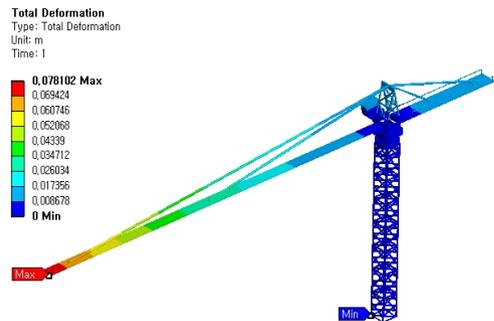


[그림 8] 하중 29400N을 받는 경우에서의 타워크레인의 증가응력 선도

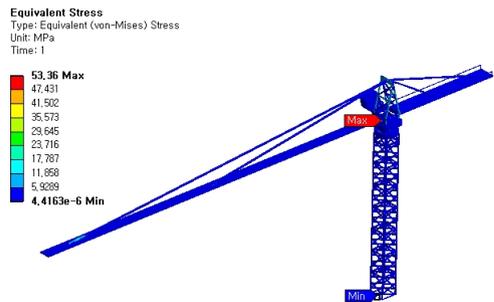


[그림 9] 하중 29400 N을 받는 경우에서의 타워크레인의 최대 전단 응력 선도

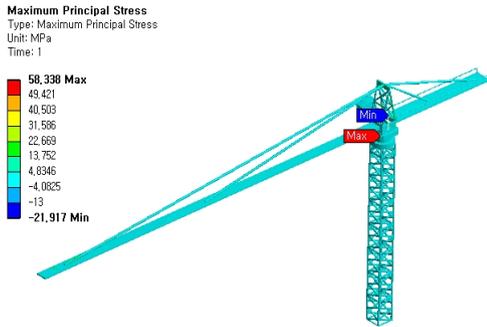
그림 10부터 12까지는 타워크레인에 바람과 같은 어떠한 저항이 있다는 가정 하에 제원표를 따라 지브 길이 70 m에 허용되어지는 하중 29400 N을 주고 모멘트를 마스트상부에 5000 Nm를 주어 전체적인 변형과 증가응력 및 전단응력 해석을 하였다. 그림 10은 타워크레인이 하중과 모멘트를 받음으로서 변형량을 등고선 결과로 보이는 것으로서 타워크레인 변형량이 0 ~ 0.078102 m로 나타났다. 하중이 작용한 지브 끝부분에서 0.078102 m로 가장 많이 변형되어 지는 것을 볼 수 있다. 그리고 마스트 밑 부분은 변형량이 거의 없는 것을 볼 수 있다. 그림 11은 증가 응력을 나타내는 것으로 응력 값은 최소 4.4163 Pa부터 최대 53.36 MPa까지 나와 있고 지브를 지지하고 있는 와이어의 끝 부분에서 최대 응력이 작용하는 것을 볼 수 있고, 또한 그림 12에서와 같이 최대 전단응력은 58.338 MPa로 증가 응력과 같은 부분에서 작용하였다.



[그림 10] 29400 N의 하중과 5000 Nm의 모멘트를 받는 경우에서의 타워크레인의 전변형량 선도

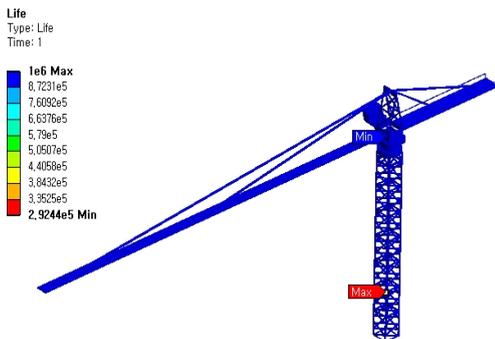


[그림 11] 29400 N의 하중과 5000 Nm의 모멘트를 받는 경우에서의 타워크레인의 증가응력 선도

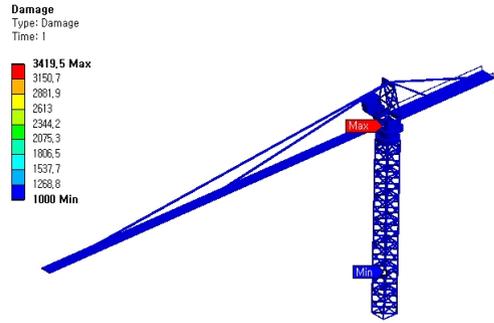


[그림 12] 29400 N의 하중과 5000 Nm의 모멘트를 받는 경우에서의 타워크레인의 최대 전단응력 선도

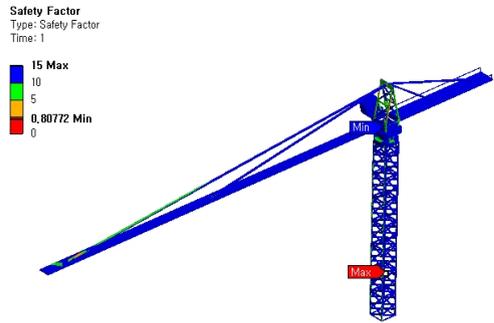
그림 13부터 15까지는 타워크레인에 바람과 같은 어떠한 저항이 있다는 가정하에 제원표를 따라 지브 길이 70 m에 허용되어지는 하중 29400 N을 주고 모멘트를 마스트상부에 5000 Nm를 주어 전체적인 피로 해석을 하였다. 그림 13은 타워크레인의 피로한계를 등고선 결과로 보이는 것으로 마스터의 윗부분에서 292440회의 피로수명을 보이고 있다. 그림 14는 데미지를 등고선 결과로 보이는 것으로 마스터의 윗부분에서 가장 수명이 짧은 것으로 보이고 있다. 그림 15는 안전계수를 등고선 결과로 보이는 것으로 최대안전을 15로 보았을 때 마스터의 윗부분이 0.80772로 가장 취약하다는 것을 보이고 있다. 모멘트가 작용되어짐으로서 응력과 변형률이 높아지긴 했지만 마스트까지 영향을 주지 않았다.



[그림 13] 29400 N의 하중과 5000 Nm의 모멘트를 받는 경우에서의 타워크레인의 피로 수명 선도



[그림 14] 29400 N의 하중과 5000 Nm의 모멘트를 받는 경우에서의 타워크레인의 피로 손상 선도



[그림 15] 29400 N의 하중과 5000 Nm의 모멘트를 받는 경우에서의 타워크레인의 안전 계수 선도

### 3. 결론

본 연구에서는 타워크레인의 지브 끝에 하중을 주고 마스트에 모멘트를 주어 그에 따른 변형 해석을 수행하여 다음과 같은 해석 결과를 보았다.

1. 지브를 지지하고 있는 와이어의 끝 부분에서 응력이나 변형이 가장 많이 일어남을 알 수 있었다.
2. 하중이 작용하는 지브의 끝 부분에서 변형이 많이 일어나고 마스트 밑 부분은 변형이 없는 것으로 나타났다.
3. 마스트의 윗 부분에서 가장 수명이 짧아져서 가장 취약함을 알 수 있었다.
4. 타워 크레인의 구조 해석 결과를 통하여 그 안전 설계 및 내구성을 향상할 수 있다고 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 김병규, 홍성욱, “타워크레인의 비선형 연성 운동 특성을 고려한 입력성형기 설계”, 한국정밀공학회지, 제 26권, 제9호(통권222호), pp. 88-95, 2009.
- [2] 조지훈, 조홍구, “프로젝트 공사기간과 연계된 극 초고층 타워크레인 최적화 선정에 관한 연구”, 한국건축시공학회지, 제9권, 제6호, pp. 131-139, 2009.
- [3] 산업안전보건법의 안전기준 및 검사기준(“개정 제 2001-57호”), 2001.
- [4] 유상연, 서덕석, 김선국, “타워크레인의 파일기초 최적설계 알고리즘 개발”, 한국건축시공학회지, 제9권, 제5호 (통권 제37호), pp. 97-103, 2009.
- [5] 호종관, “타워크레인의 선정과 안정성검토 “TOOL” 개발”, 대한건축학회, 건축, 제50권, 제5호 (통권 324호), pp. 112-116, 2006.
- [6] 이동훈, 최재휘, 김선국, “타워크레인 텔레스코핑 작업의 안전리스크 대응방안 연구”, 한국건축시공학회 2009년도 춘계 학술논문 발표대회 논문집, 제9권, 1호(학계), pp. 9-13, 2009.
- [7] 김진봉, “승용차 배기계 벨로우즈의 구조해석에 관한 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제 11권, 제 4호, pp. 1192-1196, 2010.
- [8] 이종선, “초미립자 살포기의 설계 및 구조개선”, 한국산학기술학회논문지, 제 11권, 제 1호, pp. 43-48, 2010.
- [9] 김주현, 유위성, 조훈희, 강경인, “퍼지 기법을 이용한 타워크레인 양중작업의 안전성 평가”, 대한건축학회 2009년도 학술발표대회 논문집-구조계, 제29권, 제 1호, pp. 737-740, 2009.

## 김 세 환(Sei-Hwan Kim)

[종신회원]



- 1971년 2월 : 수도공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학박사)
- 1979년 2월 : (주) 삼아 공장장
- 1982년 3월 : 천안공업대학 금형설계과 교수
- 2010년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

프레스 금형, 단조가공, 금형열처리

## 조 재 응(Jae-Ung Cho)

[정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가,  
피로 또는 충돌 시 동적 해석