

데크 크레인의 리프팅 설치 작업에 대한 안전성 평가

유현수*

¹대우조선해양 중앙연구원

Safety Assessment for Installation of Deck Crane by Lifting

Hyun-Su Ryu¹

¹Central Research Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering

요약 조선소에서 데크 크레인은 지상에 설치된 타워 크레인이나 해상 크레인을 사용하여 리프팅 설치 방법에 의해 선박에 탑재된다. 데크 크레인의 두 점 리프팅 설치 작업 시에는 임시 고정 지그 등을 사용하는데, 안전한 리프팅 작업을 위해서는 고정 지그의 형상 및 설치 위치를 고려한 리프팅 안전성 평가가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 데크 크레인 및 고정 지그에 해당하는 유한요소해석 모델을 각각 생성하고, 리프팅 반력 및 경계 조건을 적용한 구조 해석을 수행하여 리프팅 설치 작업에 대한 안전성을 평가하였다. 본 연구에서 제시한 안전성 평가 방법은 다양한 데크 크레인의 리프팅 설치 작업 시에 보다 안전한 리프팅 작업 가이드를 제공할 수 있는 해석적 툴로 활용될 수 있다.

Abstract A deck crane is installed on the deck of a ship by lifting method using tower crane or floating crane. The safety assessment for two points lifting method should be preceded to ensure a safe installation of deck crane. In this study, finite element models of deck crane and fixing jig are generated for the structural analysis which can evaluate a safety of lifting method. Also, reaction forces and boundary conditions considering lifting state are applied to the structural analysis. The proposed safety assessment method can be useful as an analytic tool that can provide a safer procedure for installation of deck crane by lifting method.

Key Words : Deck crane, Jib, Lifting, Safety assessment, Finite element analysis

1. 서론

석탄이나 곡물 등의 화물을 대량으로 실어 나르는 벌크선에는 일반적으로 화물의 하역 작업을 위한 크레인이 선박 데크에 설치된다. 이러한 데크 크레인은 부두, 항만 등에 충분한 선적 하역 설비가 없는 경우를 대비하기 위한 목적으로 사용되는 경우가 대부분이다. 국내 조선소에서 선박에 탑재되는 데크 크레인은 일본과 유럽 업체들의 설계 제품이 대부분이며 국내 몇 개 중소 조선업체가 해외 업체로부터 라이선스를 획득하여 생산만 하고 있을 뿐, 자체 설계나 생산 관련 기술 역량은 아직 미흡한 실정이다[1]. 때문에 크레인의 설계 및 안전성 관련 연구들이 학계를 중심으로 수행된 바 있다. Han 등[2]은

풍하중에 의한 크레인의 전도 방지 설계에 활용할 수 있는 시뮬레이션 방법을 제안하였고, Lee 등[3]은 하역 시 지브 크레인의 좌굴 하중을 분석하여 안전한 크레인 작업 각도에 대한 지침을 제시한 바 있으며, Cho와 Kim[4]은 타워 크레인의 안전 설계 및 내구성을 향상시키기 위해 구조 안전성 해석을 수행하였다. 특히, Zeng과 Liu[5]는 지브 크레인 파손 사례에 대해 구조 해석적으로 그 원인을 밝히고 재발 방지를 위한 안전 작업 지침을 제시한 바 있다. 이와 같이 기존 연구에서는 크레인이 온전하게 설치된 이후의 작업 환경과 상황을 고려한 크레인 안전성 검토 연구가 다수 진행되었지만, Fig. 1과 같이 데크 크레인이 리프팅 되어 설치되는 작업 상황에 대한 안전성 평가 연구는 거의 드문 실정이다. 따라서 보다 안전

*Corresponding Author : Hyun-Su Ryu(Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering)

Tel: +82-2-2129-3575 email: flame@snu.ac.kr

Received April 16, 2015

Revised (1st June 8, 2015, 2nd June 10, 2015)

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

한 리프팅 작업 가이드 마련을 최종 목적으로 기초 연구를 수행할 필요가 있다. 데크 크레인의 두 점 리프팅 설치 작업 시에는 임시 고정 지그 등을 사용하는데, 뜻하지 않게 크레인에 손상을 발생시키거나 작업 중 안전사고가 발생하기도 한다. 따라서 안전한 리프팅 작업을 위해서는 고정 지그의 형상 및 설치 위치를 고려한 리프팅 안전성 평가가 반드시 선행되어야 한다. 본 연구에서는 데크 크레인 및 고정 지그에 해당하는 유한요소해석 모델을 각각 생성하고, 리프팅 반력 및 경계 조건을 적용한 구조 해석을 수행하여 리프팅 설치 작업에 대한 안전성을 평가하였다.

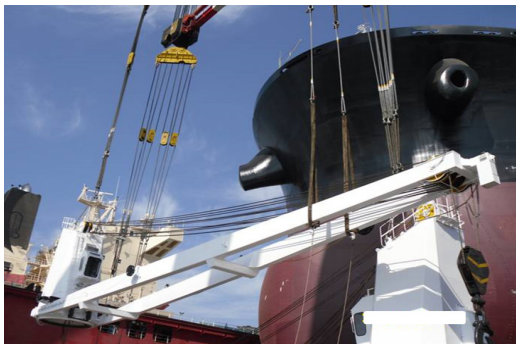


Fig. 1. Deck crane lifting

2. 데크 크레인의 리프팅 설치 작업

데크 크레인은 위 Fig. 1에서 보인 바와 같이 크게 포스트와 지브로 구성된다. 포스트는 크레인의 회전 및 무게 중심의 역할을 하며 지브는 포스트에 힌지 결합되어 화물을 들어 올리는 팔과 같은 역할을 한다. 데크 크레인을 선박에 설치할 때에는 포스트와 지브의 와이어 체결부에 와이어를 설치하고 지상 크레인이나 해상 크레인을 사용하여 리프팅 작업을 수행한다. 이 과정에서 지브의 힌지 결합 부분을 임시 고정하기 위하여 Fig. 2와 같이 지그를 설치한다.

리프팅 작업 시에는 포스트와 지브에 체결된 와이어의 장력 조절을 통해 데크 크레인의 균형을 제어하여 지그와 접촉되어 있는 지브 영역에 발생하는 응력을 최소화해야 지브 영역의 손상을 방지할 수 있다. 본 연구에서는 다음 소개되는 리프팅 유한요소해석을 통해 데크 크레인의 리프팅 설치 작업에 대한 안전성을 평가하고, 리프팅 작업에 대한 가이드를 제시하고자 한다.



Fig. 2. Temporary fixing jig

3. 유한요소해석 모델

데크 크레인의 유한요소모델은 Fig. 3과 같이 지브 구조의 대칭성을 고려하여 면대칭 3차원 솔리드 모델로 생성하였다. 유한요소모델은 다음 Table 1에 정의된 좌표계를 기준으로 생성되었으며, 해석에 사용된 탄성 계수, 포아송비, 밀도 등의 재료 상수는 Table 2의 값을 사용하였다. 유한요소해석 모델 생성 및 수치 해석을 위해 SolidWorks2010을 사용하였다[6].

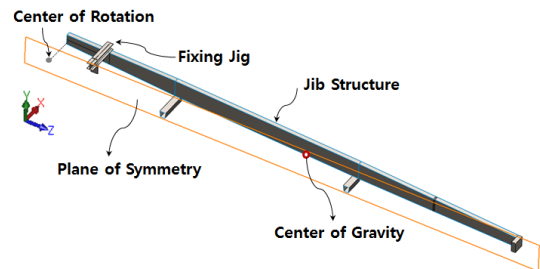


Fig. 3. Analysis model of jib structure

Table 1. Global coordinate system

Coordinate	Direction
X	Breadth of JIB
Y	Height of JIB
Z	Length of JIB

Table 2. Material properties

Item	Value
Elastic modulus	205 GPa
Poisson's ratio	0.29
Density	7870 kg/m ³
Steel grade	AH32

지브의 전체 길이는 27.8m이며, 단면은 박스 타입으로 두께는 9mm이다. 지브의 중량은 12ton이고, 무게 중심점은 포스트의 중심점에서부터 15.8m 떨어진 지점이다. 한편, 고정용 지그는 H-beam으로 단면 사이즈는 350mm x 350mm, 웹과 플랜지 두께는 각각 19mm와 12mm이다. 본 해석에서는 지그와 지브가 맞닿는 영역의 응력 상태에 보다 많은 관심이 있기 때문에 Fig. 4와 같이 해당 영역을 조밀하게 나누어 유한요소를 생성하였다. 사용된 요소는 선형 사면체 요소로 6개의 직선 가장자리로 연결된 4개의 모서리 절점으로 정의되며, 상대적으로 조밀한 영역에 사용된 요소의 크기는 43mm, 생성 허용 공차 2.1mm이다. 아울러 전체 모델에 사용된 유한요소의 개수는 15,843개이다.

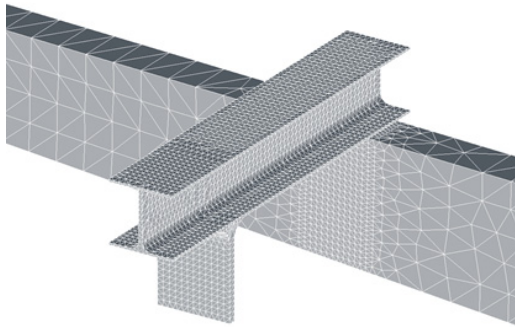


Fig. 4. Fine mesh area of analysis model

4. 리프팅 하중 및 경계 조건

데크 크레인의 이상적인 리프팅 상태에서는 임시 고정용 지그와 지브 사이에는 어떠한 응력 상태도 발생하지 않는다. Fig. 5에 보인 바와 같이 데크 크레인의 포스트에 위치한 리프팅 포인트(A)와 지브에 위치한 리프팅 포인트(B)에 작용하는 반력의 합이 포스트와 지브의 자중 합계와 평형을 이루는 경우에는 포스트에 설치되어 있는 임시 고정용 지그와 지브 사이에는 응력이 발생하지 않는다. 이러한 이상적인 리프팅 상태에서 두 리프팅 포인트에서의 반력은 다음 식(1)과 식(2)와 같이 힘과 모멘트 평형 방정식으로부터 계산할 수 있다.

$$\sum_{=0} Force = W_{POST} + W_{JIB} + R_{POST} + R_{JIB} \quad (1)$$

$$\sum_{=0} Moment = W_{JIB} \times b + R_{JIB} \times a \quad (2)$$

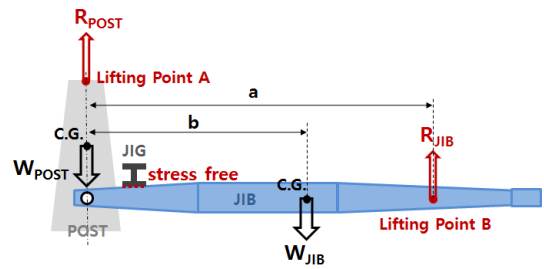


Fig. 5. Calculation of lifting reaction forces

데크 크레인의 포스트 무게는 약 30ton이고 지브의 무게는 약 12ton이며, Fig. 5에 보인 지브의 리프팅 포인트 거리(a) 22m와 지브의 무게 중심점 거리(b) 15.8m를 토대로 리프팅 하중을 산정한 결과, 포스트의 경우 33.4ton, 지브의 경우 8.6ton으로 계산되었다. 지브의 리프팅 하중은 다음 Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 자중과 함께 리프팅 해석의 하중 경계 조건으로 적용되었다.

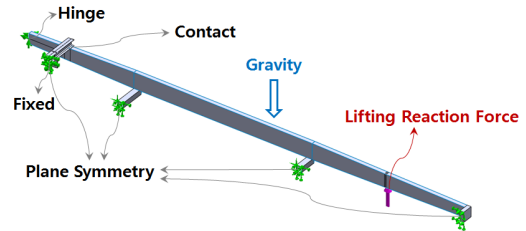


Fig. 6. Loading and boundary conditions

리프팅 해석의 경계 조건은 Fig. 6에 보인 바와 같이 포스트와 지브의 연결 부위에는 힌지 조건을 부여하였으며, 고정용 지그와 지브가 맞닿는 영역에는 접촉 조건을 부여하였다. 아울러 고정용 지그는 포스트에 체결되어 있는 것으로 가정하여 지그 체결 영역의 모든 자유도를 구속하였다.

5. 해석 결과

4장에서 기술한 리프팅 하중 및 경계 조건을 토대로 지브의 리프팅 하중을 점진적으로 증가시키며 case별 해석을 수행한 결과, Table 3과 같이 각 case별 발생 최대 응력 계산 결과를 도출하였다. 한편, 최대 응력은 Fig. 7과 Fig. 8에 보인 예와 같이 고정 지그와 지브가 맞닿는 부분에서 발생함을 알 수 있다.

Table 3. Structural analysis results of jib structure

Applied Force	Max. von Mises stress (1)	(1) / Yield stress (320MPa)
8.6 ton	2 MPa	1 %
10.0 ton	149 MPa	47 %
10.6 ton	226 MPa	71 %
11.0 ton	254 MPa	79 %
11.6 ton	316 MPa	99 %

6. 결론

본 연구에서는 테크 크레인의 리프팅 설치 작업에 대한 안전성을 평가하기 위해 테크 크레인의 지브 구조에 대한 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) 테크 크레인의 설치를 위한 리프팅 작업 시, 포스트와 지브의 이상적인 리프팅 상태에서 지브의 리프팅 포인트에 작용하는 반력은 8.6ton으로 계산되었고 이 경우 지브에는 응력이 거의 발생하지 않는다.
- (2) 리프팅 시작 시점에서는 반드시 포스트가 먼저 리프팅 되어야 한다. 만약 지브가 먼저 리프팅 되는 경우 지브의 리프팅 포인트에 작용하는 반력이 3ton 이상이 되면 고정 지그와 지브가 맞닿는 부위에 항복 응력값을 초과하는 응력 분포가 형성되어 이 부위에 손상이 발생할 가능성이 높으므로 항상 포스트를 먼저 리프팅 해야 한다.
- (3) 이상적인 리프팅 상태에서 포스트를 페테스탈에 체결하기 위해 리프팅 자세를 변화시키는 과정 중에 지브의 리프팅 포인트에 발생하는 반력이 11.6ton을 초과할 경우, 고정 지그와 지브가 맞닿는 부위에 항복 응력값을 초과하는 응력 분포가 형성되어 이 부위에 손상이 발생할 가능성이 높다.
- (4) 테크 크레인의 리프팅 작업에서 발생할 수 있는 동적 하중 요소 등을 감안하여 안전율(70%)를 고려할 경우, 반드시 지브의 리프팅 반력이 10.6ton 이하가 되도록 리프팅 작업을 수행해야 한다.

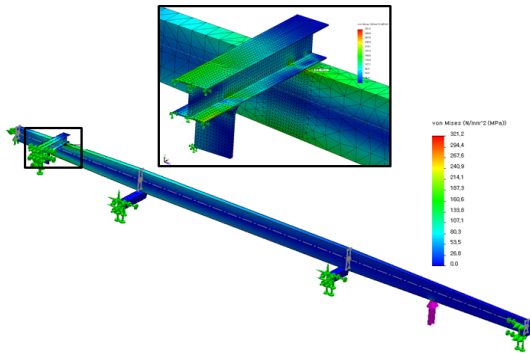


Fig. 7. Stress distribution of jib structure

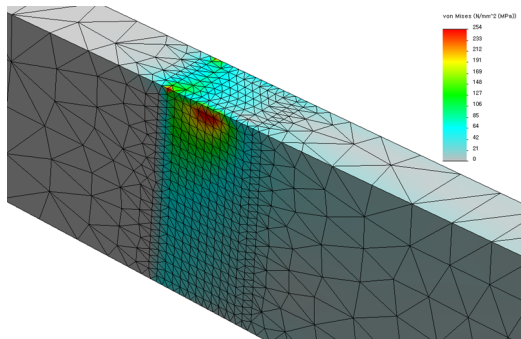


Fig. 8. Von Mises stress distribution (Applied force 11.0ton)

지브의 리프팅 하중이 8.6ton인 경우에는 지브의 자중과 리프팅 하중이 거의 상쇄되어 지브에 발생하는 응력이 미미함을 알 수 있다. 지브의 리프팅 하중이 11.6ton인 경우에는 항복 응력인 320MPa의 99%수준에 이르는 최대 응력이 발생하고 있다. 이와 같은 결과는 테크 크레인의 이상적인 리프팅 상태에서 포스트를 선박에 설치하기 위해 리프팅 자세를 변화시키는 과정 중에 지브의 리프팅 포인트에 발생하는 반력이 11.6ton을 초과할 경우, 고정 지그와 지브가 맞닿는 부위에 항복 응력값을 초과하는 응력 분포가 형성되어 테크 크레인의 손상 발생 가능성이 높다는 것을 의미한다.

향후, 테크 크레인의 횡경사 및 동적 하중 요소 등에 대한 추가 연구를 통해 본 연구에서 제시한 테크 크레인의 리프팅 설치 작업에 대한 안전성 평가 방법을 확장한다면, 다양한 테크 크레인의 리프팅 설치 작업 시에 보다 안전한 리프팅 작업 가이드를 제공할 수 있는 해석적 틀로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 아울러, 조선소에서는 테크 크레인의 리프팅 설치 작업을 수행할 시, 리프팅 포인트에 발생하는 반력 및 고정 지그와 맞닿는 지브 영역의 손상 유무에 대한 현장 피드백 내용을 데이터로 축적하고, 본 연구에서 제안한 해석 틀을 활용하여 리프팅 설치 작업 가이드를 지속적으로 업데이트한다면 보다 안전한 작업을 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Dong-Hwan Choi and Kwon-Hee Lee, "Structural Analysis and Optimization of a Pedestal for Deck Crane", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.22, No.1, pp.95-100, 2012.
- [2] D. S. Han, S. W. Lee and G. J. Han, "Comparison of finite element analysis with wind tunnel test on stability of a container crane", *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol.12, No.6, pp.29-35, 2008.
- [3] M. J. Lee, D. S. Han and G. J. Han, "Evaluation of Structural Stability of JIB Crane for a Feed Vessel According to the Luffing Angle", *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol.12, No.6, pp.24-28, 2008.
- [4] Jae-Ung Cho and Sei-Hwan Kim, "Analysis on the Structural Safety of the Tower Crane under Load", *Journal of the Korea Academia Industrial cooperation Society*, Vol.11, No.10, pp.3641-3646, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.10.3641>
- [5] Qing-dun Zeng and Fang Liu, "Analysis of Jib Strength and Broken Jib Accident of High Pedestal Jib Crane from the Perspective of Mechanics", *Applied Mechanics and Materials*, Vol.164, pp.322-325, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM164.322>
- [6] DASSAULT SYSTEMES, SOLIDWORKS WEB HELP 2010, DASSAULT SYSTEMES, 2010, <http://help.solidworks.com/HelpProducts.aspx>, (accessed May, 2015)

유 현 수(Hyun-Su Ryu)

[정회원]



- 2003년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학석사)
- 2008년 8월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학박사)
- 2008년 8월 ~ 2013년 1월 : STX 조선해양 기술연구소
- 2013년 3월 ~ 현재 : 대우조선해양(주) 중앙연구원

<관심분야>

선박 생산 자동화, 열전달 및 열변형, 극저온 공학