

대형 해상크레인의 구조 기본 설계

박찬후* · 김병우* · 하문근* · 전민성*

*삼성중공업 조선해양연구소

A Basic Structural Design for Large Floating Crane

CHAN-HU PARK*, BYUNG-WOO KIM*, MUN-KEUN HA AND MIN-SUNG CHUN*

*Marine Research Institute, Samsung Heavy Industries

KEY WORDS: Floating Crane 해상 크레인 Barge 바아지, fixed undulation type 비선회 기복식, 허용 응력비 Unity check

ABSTRACT: This paper describes basic structural design for the large floating crane barge of fixed undulation type. Structural analysis is performed to divide two parts because crane barge is composed two parts, crane part of jib boom, back stay and back tower and barge part to support crane part. The structural strength for jib boom structure members are in compliance with JIS B 8821 and scantling of all barge structural members are in compliance with the requirement of KR (Korean Register of Shipping) Steel Barges and Rules for Classification of Steel Ships. For the structural analysis of large floating crane, MSC/NASTRAN & MSC/PATRAN software is used.

1. 서 론

최근 건조되는 선박의 블록이나 교량 등의 구조물 중량이 증가하여 해상 크레인의 권상 능력을 증대할 필요성이 대두되었다. 선체의 대형 블록(Mega-Block)이나 교량 등의 설치에 해상 크레인을 사용하게 되면 설치시간의 절약, 안전성의 확보 등 많은 경제적인 이점을 가지고 있다. 비선회 기복식 해상 크레인은 출수가 낮아서 연안 작업에 매우 적절하게 이용될 수 있는데, 이처럼 해상에서 다양한 목적으로 이용되고 있는 해상크레인의 설계를 위하여 유한요소 해석을 통한 구조 안정성을 검토하였다. 당사가 보유하고 있는 3000톤 급 해상 크레인을 기본 모델로 권상능력, 예상되는 작업해역, 두 해상 크레인의 동시 작업등을 고려하여 주요 치수 및 부재 치수를 JIS B 8821과 한국선급 규정에 따라 결정하였다.

본 해상 크레인은 편의상 Jib Boom과 Back Stay/Back Tower로 구성되어 있는 상부 크레인(Crane)부와 이것을 지지하고 있는 하부의 바아지(Barge)부로 나누어 구조해석을 수행하였다. 해상 크레인의 강도해석을 위하여 유한 요소 범용 프로그램인 MSC/NASTRAN을 이용하였고, Pre-post processor는 MSC/PATRAN을 이용하였다. 또한 바아지의 좌굴 해석은 당사에서 개발된 좌굴 평가 시스템을 이용하였다(전민성 등, 2001).

2. 크레인 강도 해석

2.1 구조모델링과 경계조건

Tubular 부재를 서로 연결하여 트러스 형태로 구성된 Jib Boom의 전체 구조 강도를 평가하기 위하여 각 부재 요소들은 보(Beam) 거동을 하는 1차원 Bar요소로 모델링하였다. Back stay/Back tower를 구성하고 있는 구조 부재들도 보 거동을 하는 1차원 Bar요소로 모델링하였고, Jib Boom과 Back stay/Back tower를 서로 연결하고 있는 Wire rope는 인장 요소인 Rod 요소로 모델링하였다. 또한 본 크레인의 특성을 고려하여 Jib Boom의 각도는 최대 중량을 권상하는 62°로 하였다.

크레인은 바아지상에 설치되어 있기 때문에 크레인이 임의의 대형 구조물을 권상 할 때 Hinge Support 및 Back stay/Back tower와 바아지가 만나는 연결부를 통하여 바아지의 거동에 영향을 주게 된다. 이 연결부의 거동은 바아지의 트림(Trim) 및 권상 하중에 따라 항시 다르므로 바아지와 크레인을 동시에 모델링하여 구조해석을 하는 것이 바람직하다. 그러나 Hinge Support 부분을 상세히 보면, Jib Boom과 Hinge Support는 Hinge Pin형태로 연결되어 있고, 이 Pin은 Bossing과 Gap을 유지하며 결합되어 있으므로, 선형 문제로 풀기 위하여 크레인과 바아지를 별도로 분리하여 해석하였다.

따라서 크레인의 전체 구조 강도를 평가할 때 바아지와 연결부를 지지점으로 하여 경계조건을 적용하였고, 경계조건은 다음과 같다.

- 1) Back stay 및 Back tower의 하단부는 완전 고정
- 2) Jib Boom하단부는 Hinge Pin이므로, Global Y의 회전방향으로는 free이고, 나머지는 구속

제1저자 박찬후 연락처: 거제시 신현읍 장평리 삼성중공업
055-630-5359 chanhu.park@samsung.com

3) Back stay 와 Back tower 는 Hinge 로 연결되어 있으며 로 Pin 요소 적용

좌표계는 바아지의 선미에서 선수방향이 Global (+)X이고, Center line에서 Port 방향이 Global (+) Y방향이며 Bottom에서 Deck 방향이 Global (+) Z 방향으로 설정하였다.

2.2 하중조건 및 허용응력

크레인 강구조 부분의 계산 기준인 JIS B 8821에 의하여 다음과 같은 하중 조건을 적용하였다.

- Load case 1 : 작업시, 무풍 - M(S_C+ΨS_L+S_H)
 - Load case 2 : 작업시, 풍 하중 고려 -LC01+S_w
- 여기서, M : 작업계수로서 1.05를 적용
 Ψ : 동하중 계수로서 1.25를 적용
 S_C: 자중
 S_L: 권상하중
 S_H: 수평하중, 수직하중의 5%를 적용
 S_w: 풍하중(16m/sec)

한편, 크레인을 구성하고 있는 구조 부재들에 대한 허용응력은 JIS B 8821에 의거하여 허용 응력을 적용하였다. 또한 구조 부재들은 압축/인장 응력 및 굽힘 응력이 동시에 작용하므로 API RP2A-WSD에 제시된 조합응력시의 허용 응력을 적용하여 구조 부재의 안전성을 평가하였다. JIS B 8821에 의한 허용 응력 및 API R2A의 조합응력에 관한 식은 Table 1과 같다.

Table 1 Allowable stress

구 분	LC01	LC02
허용 인장 응력	$\sigma_a = \sigma_y / 1.5$	$\sigma_a = \sigma_y / 1.3$
허용 압축 응력	$\sigma_c = \sigma_a / 1.15$	$\sigma_c = \sigma_a / 1.15$
허용 굽힘 응력	$\sigma_b = \sigma_y / 1.5$	$\sigma_b = \sigma_y / 1.3$
조합 응력(API)	$\sigma / \sigma_a + \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)} / \sigma_b < 1.0$	

2.3 계산결과

바아지 상부의 크레인 부분의 구조해석 결과 처짐 형상은 다음 Fig. 1과 같다.

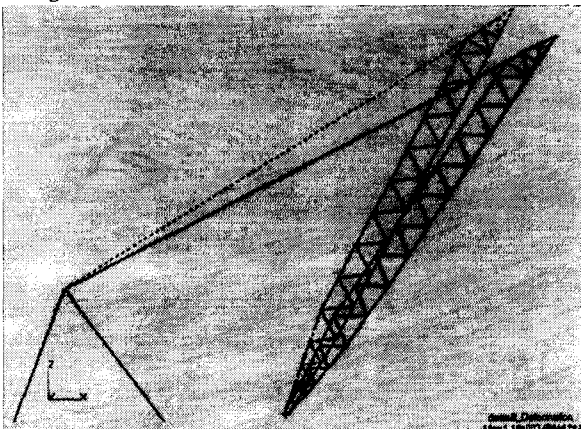


Fig. 1 Deformed shape of Crane

Back Stay에는 압축하중이 작용하고 있으며 Back Tower에는 인장하중이 작용하고 있다. Jib Boom의 거동은 그 횡단면이 삼각형 형상으로 되어 있는데, 삼각형의 꼭지점을 형성하고 있는 부재는 압축을 그리고 밑변은 인장을 받고 있음을 알 수 있다.

크레인을 구성하고 있는 각각의 Tubular 부재들의 강도 평가는 2.2절의 허용응력 평가 방법에 따라 수행을 하였으며, 평가 결과 구조 부재의 안전성은 충분한 것으로 확인되었다.

2.4 Jib Boom 하단부 상세 구조 해석

Jib Boom의 하단부를 1차원 Bar 요소로 모델링하는 경우, 그 강성을 완전히 표현하여 구조 해석을 할 수 없으므로 2차원 Shell 요소로 상세히 모델링 한 후에 구조 안전성을 평가하였다. 모델링은 Tubular 주위에 평판으로 보강이 많이 된 Jib Boom 하단부의 일부만을 Shell 요소로 모델링하고, 나머지는 Global 해석과 같이 Bar 요소로 모델링 하였다. 또한 Solid로 구성되어 있는 Hinge Pin은 직접 모델링을 하지 않고, MSC/NASTRAN에서 지원되는 RBE2 요소를 사용하여 Hinge Pin Boss와 연결된 것으로 모델링하였다.

Bar 요소와 Shell 요소 모델링의 경계 즉, Top Chord/Bottom Chord의 Shell 요소와 만나는 부분도 RBE2 요소로 모델링하여 Jib Boom 상부의 각종 하중이 Shell 요소로 정확히 전달되도록 하였다.

재료의 허용 응력은 JIS B 8821에 의한 허용 응력 적용하였고, von-Mises 허용 응력은 LC-01 일때는 항복응력의 85%를 적용하였고, LC-02일때는 극한 조건을 적용하여 LC-01보다 허용 응력을 15% 증가시켰다.

상세 해석 결과 발생하는 응력들은 허용응력 범위 내에 있음을 알 수 있었다.

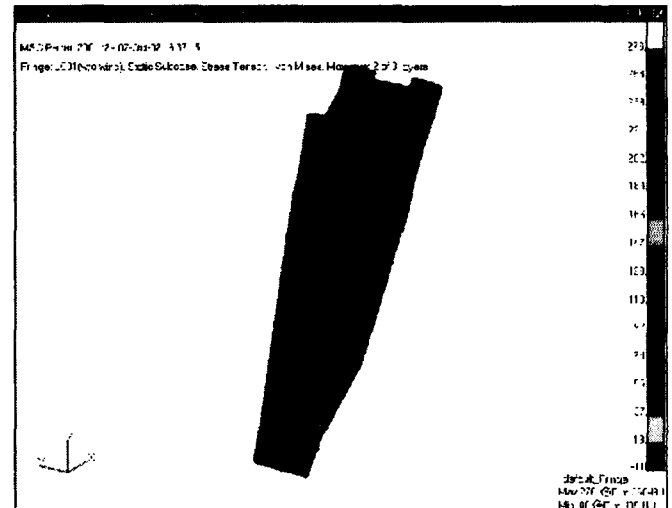


Fig. 2 Von-Mises Stress Distribution(LC-01)

3. 바아지의 강도 계산

본 해상 크레인은 한국선급에 입급 됨으로 바아지의 설계 및 구조해석에는 KR Rule(강제부선규칙)을 따랐으며, KR Rule에서 제시되지 않은 사항에 대해서는 다른 선급 Rule을 참조하여 KR과 협의하여 결정을 하였다. 주요 치수(Principal Dimensions)를 결정하

기 위하여 Case study를 수행하였으며, 강제부선규칙에 따라 바아지의 구조 부재 치수를 예비 선정하였고, 최종적으로 결정된 바아지의 횡단면을 기준으로, 크레인의 Global 계산결과인 지지점의 반력을 이용하여 바아지의 전선해석 및 좌굴강도 평가를 수행하였다.

3.1 전선해석

본 대형 해상크레인의 바아지 부의 구조강도를 평가하기 위하여 전선해석을 수행하였다. 바아지의 주요 부재치수는 구조해석 결과로부터 최종 결정하였으며, 해상크레인이 탑재되는 바아지 부분의 주요 제원은 다음과 같다.

Table 2 Principal Dimensions of Floating Crane

LBP	110.0 m
Breadth	48.0 m
Depth	7.5 m
Design Draft	5.0 m

한편, 본 해상 크레인의 일반 배치도는 Fig. 3에 나타나 있다.

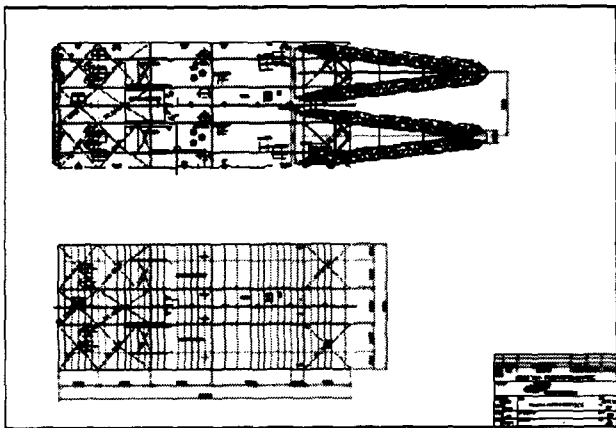


Fig. 3 General Arrangement

3.2 구조모델링 및 경계조건

해상 크레인의 바아지 부분의 구조강도를 평가하기 위하여 F.E 모델을 생성하였다. 본 해석의 목적은 바아지 부의 구조 안정성을 평가하는 것이므로, 상부의 Jib 및 Back Stay/ Back Tower는 모델링에서 제외하였으며, 상부의 Jib 및 Back Stay/ Back Tower로부터 전달되는 하중은 지지점에서의 반력을 Hinge Support 와 크레인의 Pin 연결부, Back Stay/ Back Tower와 바아지의 연결부에서 강체 요소(RBE2)를 이용하여 적용하였다.

Hinge Support와 바아지가 연결되는 부분과 Back Stay/ Back Tower와 바아지가 연결되는 부분은 응력 집중이 발생하여 응력이 크게 나타날 수 있는 부분이므로 메쉬(Mesh)의 크기를 100mm로 모델링 하였으며, 그 밖의 바아지 부분은 길이방향으로 1/2 Frame 간격, 폭 및 높이 방향으로 Longitudinal stiffener 간격의 크기로 모델링 하였다.

또한, 부식을 고려하여 모델링을 수행하였으며 부식에 의한 부재 두께의 감소는 기본적으로 KR Rule을 적용하였고, KR Rule에서 언급되지 않은 Void Space 에 대한 부식여유는 DNV Rule을 참고하여 Table 3과 같이 고려하였다.

Table 3 Corrosion Margin

위치	부식여유	비고
Ballast Tank	2.5	KR
Void Space	0.5	DnV
Hull Boundary (Bottom, Deck, Side Shell)	1.5	KR
Ballast Tank와 Void Space 경계	1.5	DnV

한편, 전선해석 수행시 경계조건으로는 MSC/NASTRAN에서 제공되는 INERTIA RELIEF를 사용하였다. Fig. 4는 생성된 FE모델의 형상을 보여 주고 있다.

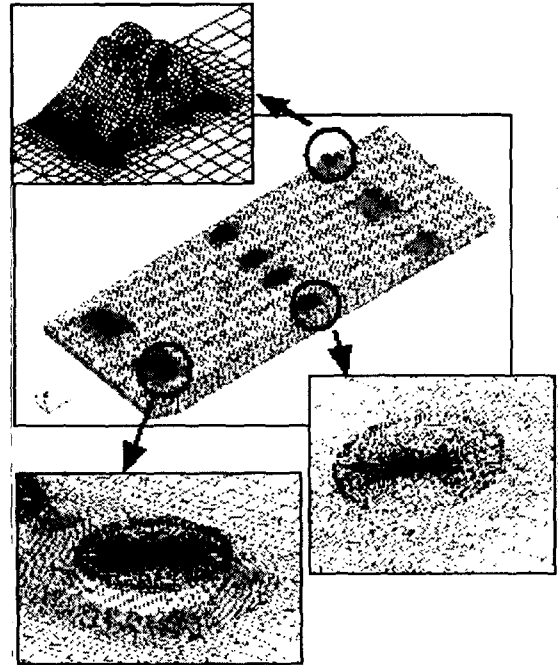


Fig. 4 FE Model

3.3 하중조건

Wave Bending moment와 더불어 각종 장비 및 해상 크레인의 특성을 고려하여 다음과 같은 두 가지 하중조건을 적용하여 전선해석을 수행하였다.

1. 작업조건: Jib 각 62°의 상태에서 해상 크레인의 최대 권상 하중의 부하가 가해지고 파도가 잔잔한 평수 역에서 작업 또는 예인을 하는 조건, Rule Wave Bending Moment 50% 적용
2. 운항조건: 해상 크레인에 부하가 가해지지 않은 상태에서 외해에서 운항을 하는 조건, Rule Wave Bending Moment 80 % 적용

KR Rule에 의하면 바아지가 평수 역을 운항할 때에는 종강도를

Rule 요구치의 30%까지 경감할 수 있고, 연해 역을 운항할 때에는 20%를 경감할 수 있다고 나타나 있는데, 연근해용 해상 크레인에 대한 Wave Bending Moment의 적용 규정이 명확하게 나타나 있지 않다. 연근해용 해상 크레인이 작업을 할 경우 즉, 대형 블록을 권상하여 탑재 및 구조물을 설치 할 경우에는 평균중이고, 이 경우에도 현재의 규정에 의하여 Wave Bending Moment를 20~30% 경감하여 70~80%를 적용하면 과량하중을 매우 과대 평가하는 결과가 된다. DNV와 LR의 경우에는 제한된 해역에서 작업을 할 경우 Rule Wave bending Moment의 50%를 경감할 수 있는 규정이 있고, 제한된 항로를 운항할 경우 20%를 경감할 수 있는 것으로 규정되어 있다. 이러한 규정을 이용하여 본 대형 해상 크레인의 경우, 작업시에 대한 Wave bending moment는 Rule값의 50%를 적용하는 것으로 한국선급(KR)과 협의의 하여 결정하였고 또한, 전선 해석시에 적용하였다. 즉 해상 크레인이 작업을 할 경우에는 Rule Wave Bending Moment의 50%를 적용하여 전선해석을 수행하였고, 작업을 위하여 이동할 경우에는 KR의 평균 역 운항조건을 적용하여 Rule 값의 80%를 적용하였으며, 이러한 Wave Bending Moment를 적용한 하중조건에 대하여 Table 4에 정리되어 있다.

Table 4 Loading Condition

구분	Loading condition	Wave bending moment	비고
Load case 1	부하상태	Hogging 50%	작업조건
Load case 2	부하상태	Sagging 50%	작업조건
Load case 3	무부하상태	Hogging 80%	항해조건
Load case 4	무부하상태	Sagging 80%	항해조건

Still Water 상태의 T&S로부터 주어진 홀수와 하중을 이용하여, 당사의 전선해석용 하중생성 프로그램을 사용하여 F.E 모델에 적용할 하중을 생성하였다(서용석 등, 1998).

한편, Rule Wave Bending Moment를 F.E모델에 구현하기 위하여 Frame Space 간격으로 RBE2 요소를 선체 횡단면에 걸쳐 생성하였다. 이때, RBE2 요소의 Master Node는 바아의 중립축 위치에 놓이도록 하였으며 Slave Node는 중부재 (Shell, Deck, Bottom, Longitudinal BHD, Girders) 들을 구성하는 절점(Node)에 대해서만 적용하였다.

Rule Wave Bending Moment는 KR Rule에 따라 계산하였으며, 다음과 같다.

- Hogging : 872,152 kN-m
- Sagging : -868,563 kN-m

Fig. 5는 Rule Wave Bending Moment의 50%를 적용하였을 때, Upper Deck에서의 변형 및 선체 종 방향 응력분포를 보여 주고 있다. Midship에서 Deck Plate의 종 방향 응력은 Hogging 일 때 42 N/mm²이고, Sagging일 때 43N/mm²이다. Wave Bending Moment를 50% 적용하였을 때 Wave에 의해 Upper deck 및 Bottom에 발생하는 Hull Girder Stress는 바아의 횡단면 계수 값을 이용하여 보 이론에 의해 Table 5와 같이 계산되어 질 수 있다.

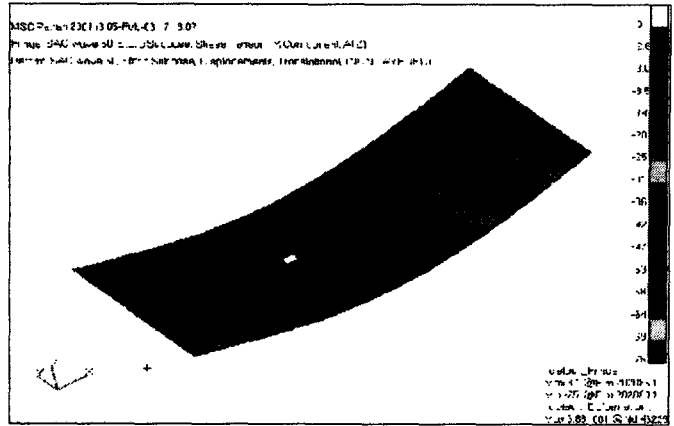


Fig. 5 Structural Deformation of Deck(WBM 50%)

Table 5 Hull Girder Stress using Beam Theory(Rule WBM 50%)

구분	Upper deck	Bottom
Hogging	41.96 N/mm ²	52.04 N/mm ²
Sagging	41.79 N/mm ²	51.83 N/mm ²

Table 5에서의 보 이론 계산 결과와 Fig. 5와 같이 F.E 모델을 이용한 해석 결과는 매우 근사한 결과를 보여 주고 있음을 알 수 있다. 따라서 바아의 F.E 모델은 적절히 되었음을 검증할 수 있다.

작업조건은 해상 크레인이 대형의 중량물을 들고 평균역내에서 운항 또는 중량물을 탑재를 하거나 구조물을 설치하는 상태이다. 작업조건에서의 하중은 작업시 발생할 수 있는 동하중과 풍하중 등을 고려하였다. 해상 크레인의 하부 바아지 구조에 대한 강도평가를 위하여 상부 크레인으로부터 바아지로 전달되는 하중을 계산하였으며, 이 때 사용된 크레인의 하중은 JIS B 8821에 따라 계산하였다. 강도해석을 위하여 작업조건에서 크레인 연결부에 가해지는 반력을 이용하여 Ultramarine Inc.에서 제공하는 MOSES 프로그램으로 최적의 Operating Condition을 결정하였다.

운항조건은 해상 크레인이 중량물을 들지 않고 Jib Boom 각 62°를 유지한 채 작업지역으로 예인되는 조건이다. 여기서 크레인으로부터 바아지에 전달되는 하중은 크레인의 자중에 의한 반력만을 고려하였다.

3.4 FE해석 결과

본 해석은 해상 크레인이 선령 기간 동안 실제 경험할 가능성이 있는 가장 극심한 하중을 고려하여 계산하였으며, 구조물에 가해질 수 있는 모든 하중을 전반적으로 고려하고 있으므로 Table 6과 같이 허용응력을 적용하여 평가할 수 있다.

Table 6 Allowable Stress

구분	von-Mises	Shear (mean shear)
모든 부재	235/K ⁽¹⁾	135/K
응력집중 부위 ⁽²⁾	350/K ⁽¹⁾	

- 주1) K: 재료상수로서 = 1.0 연강
 = 0.78 AH32 고장력강
 = 0.72 AH36 고장력강

주2) 응력 집중부위는 기하학적 불연속이 일어나는 점과 연결된 한 개의 요소만을 의미하며, 이에 대하여는 350/K 를 허용응력으로 하였다. 이러한 Local 해석의 경우 허용응력은 50% 를 할증하여 $235\text{N}/\text{mm}^2 \times 1.5 = 350\text{N}/\text{mm}^2$ 이며, Shear는 $235\text{N}/\text{mm}^2 / \sqrt{3}$ 을 적용하여 $135\text{N}/\text{mm}^2$ 이다.

전체의 거동은 Hinge Support 부분과 Back Tower 부분이 압축을 받아서 Sagging 형상을 보여 주고 있으며, Back Stay부분은 인장을 받아서 Hogging 형상을 나타내고 있다. 전체적으로는 부하상태에서는 Sagging 형상이고, 무 부하 상태에서는 Hogging 형상이 가깝다.

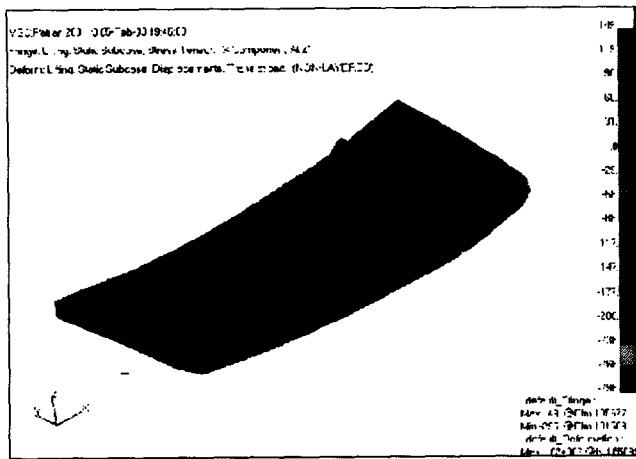


Fig. 6 Deformed shape of the barge(Lifting Condition)

주로 Load case 2일 때, 즉 부하 상태에서 Sagging 일 때 각 구조 부재들에 최대 응력이 발생하였으며 Back Stay 부분은 Load case 1 일 때 즉, 부하상태에서 Hogging일 때 최대 응력이 발생하는 것을 알 수 있었다.

각각의 부재들에서 발생하는 응력들은 Table 6의 허용응력 범위 내에 있으므로 구조적으로 안전함을 알 수 있다.

3.5 바이지의 좌굴 강도 평가

대형 해상 크레인의 하부 바이지 구조에 대한 좌굴 강도 평가를 수행하였다. 좌굴 평가를 위하여 KR의 계산식을 사용하여야 하나 현재 당사에서 보유하고 있는 좌굴강도 평가 시스템에 KR의 계산식이 반영되어 있지 않아, 본 해석에서는 KR의 승인 하에 KR의 식과 등가한 결과를 준다고 판단되는 Lloyd의 식을 사용하여 계산을 수행하였다.

Lloyd의 좌굴 계산 식은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sigma_{cc} && \text{for } \sigma_c \leq (\sigma_y / 2) \\ \sigma_c &= \sigma_y \times (1 - \sigma_y / (4 \times \sigma_{cc})) && \text{for } \sigma_c > (\sigma_y / 2) \\ \lambda &= \sigma_c / \sigma_{act} \end{aligned}$$

여기서, σ_c = 임계 좌굴응력
 σ_{cc} = 탄성 임계 좌굴응력

σ_{act} = 계산된 구조물의 응력

λ = 좌굴계수로서 1.0이하가 되면 좌굴이 발생한다.

당사가 보유하고 있는 프로그램은 Lloyd에서 제시하는 방법에 따라 F.E 해석 결과로부터 좌굴해석을 수행하도록 되어 있으며, 이때 F.E 모델로부터 좌굴계산을 하기 위한 패널(Panel)의 구성정보를 자동으로 추출하고 각 패널을 구성하는 각 방향 응력의 평균값을 구하여 계산을 수행하도록 되어있으며, 추출된 패널을 가지고 MSC/PATRAN 모델을 생성하여 각 패널 요소에 대한 좌굴 계수를 보여 준다.

좌굴 강도 평가는 바이지 전체의 구조 거동을 참조하여 주로 압축을 받는 부분인 Hinge Support 하부와 Back Tower 하부를 위주로 평가하였다. 모든 구조 부재에서 좌굴 Factor가 1.0을 넘고 있으므로 좌굴이 발생하지 않음을 알 수 있다.

4. 결 론

JIS B 8821에 의한 동하중 및 하중 조건을 적용하여 Jib Boom과 Back stay/ Back tower 에 대해 구조 해석을 수행하였다. 굽힘 응력 및 압축/인장 응력이 동시에 발생됨으로 조합응력에 의해 구조 강도를 평가하였고, 그 결과 Back stay/ Back tower의 발생응력과 허용 응력비(Untity check)는 1.0보다 작아서, 구조 강도상 안전한 것으로 평가되었다.

또한 Jib Boom의 하단부는 복잡한 Shell로 구성되어 있어서, 보 요소로 모델링하여 구조 해석을 수행하면, 그 강성을 완전히 표현할 수 없으므로 정확한 구조 거동을 판단하기 위하여 상세한 Shell 요소로 모델링하여 구조 해석을 수행하였다. Global 구조해석과 동일한 하중 조건 및 경계조건을 적용하여 Jib Boom 하단부의 상세 구조해석을 수행한 결과, 발생하는 응력이 허용 응력 범위 내에 있어서 구조 강도상 안전한 것으로 평가되었다.

따라서, JIS B 8821에 의한 하중 조건을 적용하여 크레인에 대한 구조 강도를 평가한 결과 구조적으로 안전하다고 판단된다.

또한, 대형 해상 크레인의 바이지 부분의 전선 해석 및 좌굴 평가를 수행하였다. 하중조건으로는 대형 해상 크레인이 중량물을 권상했을 때 크레인에서 전달되는 지지점에서의 반력과 각종 장비 및 발라스트(Ballast)를 고려한 작업조건과 중량물을 들지 않았을 경우의 운항조건이며, Wave Bending Moment는 KR과의 협의 하에 작업 조건에서는 50%를, 운항조건에서는 80%를 적용하였다.

바이지 전체의 구조 거동은 부하상태일 때는 Sagging 상태이며, 무 부하 상태일 때는 Hogging 상태이다. 국부적으로는 Hinge Support 부분과 바이지의 연결부분, Back Tower와 바이지의 연결 부분이 압축을 받고 있으며, Back Stay 부분은 인장을 받고 있어서 Wave가 Hogging일 때는 오히려 선수 부분이 들려지는 형상을 보여 주고 있다.

최대 응력이 발생하는 조건은 Loadcase 2로 부하상태에서 Wave가 Sagging일 때이며 Hinge Support와 바이지가 만나는 부분이다.

이 부분은 응력이 집중됨으로 국부적으로 고장력강을 사용하여 보강을 하였으며, 구조 해석 결과 허용 응력을 넘지 않은 것으로 나타났다.

Back Tower 하부도 국부적으로 응력이 집중되는 현상을 보여 주고 있지만 허용 응력보다 작은 응력이 발생하고 있고, Back Stay 하부도 구조 강도상 안전한 것으로 평가되었다.

한편, 당사가 보유하고 있는 좌굴해석 평가 시스템을 이용하여 주로 압축을 받는 부재를 중심으로 바이지에 대한 좌굴 평가를 실시하였다. 좌굴 해석 결과 모든 구조 부재는 좌굴 Factor가 1.0을 넘기 때문에 좌굴이 발생하지 않음을 알 수 있었다.

결론적으로, JIS B 8821에 의한 크레인의 구조해석 및 KR Rule을 이용한 바이지에 대한 전선해석 및 좌굴 평가 결과, 본 대형 해상 크레인은 정격 하중을 권장하는데 구조적으로 충분한 안전성을 확보한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

서용석, 김재균, 장기복, 윤장호(1998), 직접 해석법에 의한 전선해석 시스템에 관하여, 삼성중공업 기보, Vol. 5 No. 1, pp36-41

전민성, 김성찬(2001), 선박의 좌굴 평가 시스템에 관한 매뉴얼, 삼성중공업 연구보고서

일본규격협회, 크레인 강구조부분의 계산 기준, JIS B 8821, 1976

한국선급, 강제부선규칙, 1993

한국선급, 선급 및 강제규칙, 2002

API , Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design, API RP2A-WSD, 20th edit. 1993

2004년 5월 3일 원고 접수

2004년 월 일 최종 수정본 채택