

러핑각도에 따른 선박용 지브크레인의 구조 안정성 평가 Evaluation of Structural Stability of JIB Crane for a Feed Vessel According to the Luffing Angle

이문재 · 한동섭 · 한근조
M. J. Lee, D. S. Han and G. J. Han

(접수일 : 2008년 10월 29일, 수정일 : 2008년 11월 28일, 채택확정 : 2008년 12월 1일)

Key Words : JIB Crane (지브크레인), Luffing Angle (러핑각도), Structural Stability (구조안정성), Structural Analysis (구조해석)

Abstract : It expects demand of ships which equipped with JIB crane growth to continue. However, demand of JIB crane is increased, domestic shipment company imitated the design of Europe and Japan. And we need to develop the functional system of the JIB crane and modernize it. We need to find the optimum luffing angle for saving energy when JIB crane works. This study analyzed buckling load of JIB and reaction force of support point and stress of JIB according to the luffing angle through finite element analysis when JIB crane loads 40 ton weight. And this study considered the safety factor 1.8 of material. Every design condition was KS A1627 standard. This study used ANSYS 10.0.

1. 서 론

조선업이 호황기를 맞으면서 국내에서는 조선소 건설 붐이 일고 있다. 주로 중견 조선소에 의해 그 추세가 진행되고 있는데, 이들 조선업체는 향후 10년간은 석탄과 곡물 등을 실어 나르는 벌크선과 석유화학제품을 운반하는 PC선의 수요는 증가할 것이라고 보고 있다(부산일보 2007년 5월 17일자). 현재와 같은 추세로 인해 지브(JIB)크레인을 장착한 선박이나 벌크선의 증가로 지브크레인의 수요가 증가하고 있다.

현재 국내에 있는 지브크레인들은 노후화 된 것이 많고 외국에서 수입해서 사용되고 있는 것이 많다. 따라서 현재 및 향후에 증가하는 물류량을 감당하기 위해서는 현재의 기술수준에 맞게 개량되어야 하며, 성능향상을 시켜야 하고 현대화의 필요성이 대두되고 있으나, 현재 국내업체는 일본과 유럽업체들의 설계를 모방하고 있는 실정이다.

따라서 국내실정에 맞는 지브의 설계기술이 요구

되고 있고, 이를 충족하기 위해서 지브구동시의 에너지 절감을 위한 최적의 러핑각도와 지브의 경량화가 필요하다. 이는 곧 경제적인 측면에서 재료의 절감과 비용경비의 최소화를 추구하는 산업용 크레인에 있어 매우 중요하고 필수적인 요소라고 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 지브크레인이 40톤의 하물을 하역 시 재료의 안전율 1.8을 고려한 지브의 러핑각도에 따른 지지점의 반력과 지브의 응력을 유한요소해석을 통해 분석하고자 하였다. 러핑각도에 따른 응력과 반력을 분석함으로써 최소응력과 반력이 나타나는 각도를 산출하고, 하역 시 지브크레인의 안정성제고와 함께 러핑각도에 따른 좌굴하중을 분석함으로써 현장에서 쉽게 활용 가능한 지브의 러핑각도별 작업에 대한 지침을 제시하고자 함에 본 논문의 목적이 있다. 크레인의 모든 설계조건은 KS A1627규격과 크레인 제작기준 안전기준 및 검사규격을 기준으로 하였다.

2. 좌굴하중 분석

본 논문의 크레인은 몸체에 상하로 움직일 수 있는 지브가 설치되어 지브를 따라 움직이는 크레브에 매달린 달기기구에 의해 하물을 이동시키는 크레인인

한근조(책임저자) : 동아대학교 기계공학과
E-mail : gjhan@dau.ac.kr, Tel : 051-200-7650
한동섭 : 동아대학교 BK총괄사업단
이문재 : 동아대학교 대학원 기계공학과

다. 갑판 상면에 설치, 자체 적으로 사용할 수 있다.

지브와 같이 축 방향 하중을 받고 세장비가 큰 부재는 좌굴에 의해 파손이 일어나기 쉽다. 따라서 지브는 좌굴에 의한 파손을 가정할 수 있으며, 이에 지브의 러핑각도에 따른 좌굴하중을 분석을 하였다.

먼저 지브의 자유물체도를 Fig. 1에 나타내었다. 와이어로프의 장력(T)을 지브의 각도(θ_J)에 관해 나타내면

$$T = \frac{(W - \frac{W_J}{2}) \cos \theta_J}{\sin \theta_J - \tan^{-1}(\frac{L_J \cdot \sin \theta_J - L_k}{L_J \cdot \cos \theta_J})} \quad (1)$$

여기서 W 는 권상하중, W_J 는 지브의 자중 θ_J 는 러핑각도, θ_W 는 와이어로프와 페데스탈 꼭지점의 수평축과의 각도, L_J 는 지브의 전장길이, L_k 를 페데스탈의 높이이다. 식 (1)에 의해 러핑각도에 따른 장력(T)을 Table 1에 나타내었고, 권상하중(W)이 작용할 때 지브 끝단(B점)에 작용하는 힘(F_B)은 식(2)와 같다.

$$\begin{Bmatrix} F_{BX} \\ F_{BY} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -T_x \\ -(T_y + W) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -T \cdot \cos \theta_W \\ -(T \cdot \sin \theta_W + W) \end{Bmatrix} \quad (2)$$

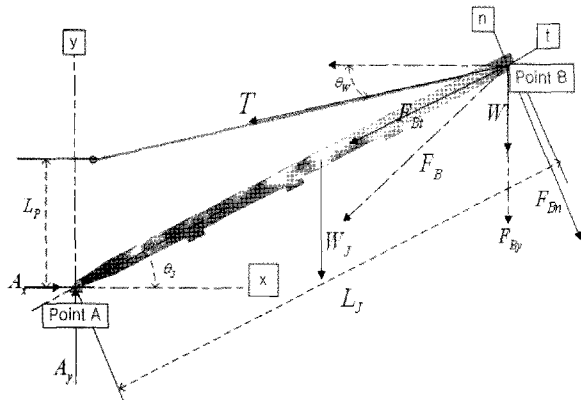


Fig. 1 Free body diagram of JIB

Table 1 Tension of wirerope with respect to luffing angle

Luffing angle	Tension(kN)
0	917.06
10	863.12
20	807.38
30	751.33
40	696.81
50	646.05
60	601.74
70	566.89
80	544.44

여기서 JIB의 굽힘 및 좌굴을 발생시키는 하중, F_{Bn} , F_{Bt} 는 좌표변환 공식에 의해 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} F_{Bt} \\ F_{Bn} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_J & -\sin \theta_J \\ \sin \theta_J & \cos \theta_J \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{BX} \\ F_{BY} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

이렇게 에 대한 함수로 나타낸 F_{Bn} 과 F_{Bt} 를 러핑각도별로 구한 수치를 Table 2에 나타내었다.

지브는 양단 핀지지 형태이므로 좌굴하중(P_{cr})은 오일러공식에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_J^2} \quad (4)$$

Table 2 Forces applied to JIB with respect to the luffing angle

Luffing angle	F_{Bt} (kN)	F_{Bn} (kN)
0	-386.26	-917.04
10	-532.93	-782.45
20	-644.03	-624.79
30	-716.78	-453.73
40	-751.31	279.18
50	-750.82	110.25
60	-721.15	456.98
70	-670.16	184.04
80	-606.23	303.63

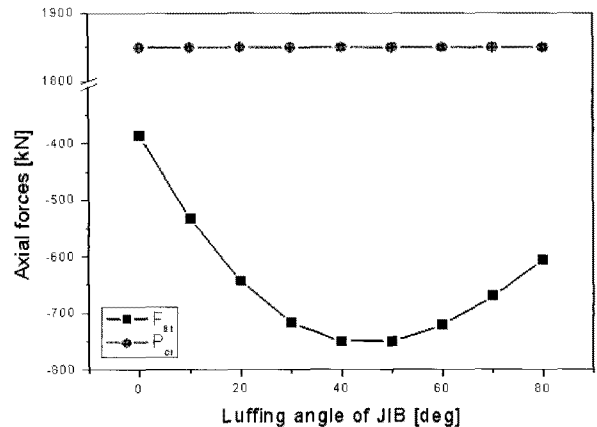


Fig. 2 Axial forces and buckling loads of JIB according to the luffing angle

따라서, 본 연구에서 제안된 모델의 좌굴하중(P_{cr})은 1849.2kN이 된다. Table 2에 나타낸 지브의 러핑각도(θ_J)에 따른 지브의 축하중(F_{Bt})과 좌굴하중을 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2를 살펴보면 0°일 때 좌굴에 대한 위험이 가장 높으며 40°~60°를 기준으로 좌굴에 대한 위험이 가장 낮은 것으로 나타났다.

3. JIB의 러핑각도에 따른 응력 및 반력분석

3.1 유한요소해석

지브의 폭은 2.6m, 길이는 약 32m에 이르며 항만에서 구조상 취약점이 나타나는 지브의 끝단에 하물을 매달았을 때의 응력과 반력을 분석하였다. 지브에서의 반력이 페데스탈(pedestal)의 지지점의 반력이라고 볼 수 있다. 본 장에서는 지브만 모델링하여 구조해석을 수행, 러핑각도에 따른 응력과 반력만을 산출해서 분석하였다. 지브의 단면을 Fig. 3에 나타내었고 지브를 모델링하여 격자 생성한 것을 Fig. 4에 나타내었다. 항만에서 쓰이는 하역장비는 경험적으로 부식을 고려하여 최소 판 두께를 6mm 이상으로 하게 되어 있는 점을 고려하여 15mm의 판 두께를 적용하였다. 유한요소해석에 사용된 상용 프로그램은 ANSYS 10.0을 이용하였다. 지브의 판은 길이나 넓이에 비해 두께가 얇기 때문에 4절점 쉘 요소를 사용하여 사각형요소로 분할하였다. 또한 지브에 정격하중이 작용하는 지브의 끝부분에는 8절점 솔리드요소를 사용하여 사각형요소로 분할하였다. 그리고 와이어로프에는 링크요소가 사용되었으며 안전율 5를 고려하여 와이어로프의 지름은 130mm로 하였다. 요소는 등방성, 등질성, 그리고 선형탄성을 가정하고 지브크레인의 킹하우스(kinghouse)의 높이는 12m로 하여 구조해석을 수행하였다. 유한요소모델의 절점의 수는 16,954개이고, 요소의 수는 14,957개이다. 지브에 사용된 재료는 선체구조용 고장력강재인 POSTEN60이고, 재료의 물성치를 Table 3에 나타내었다.

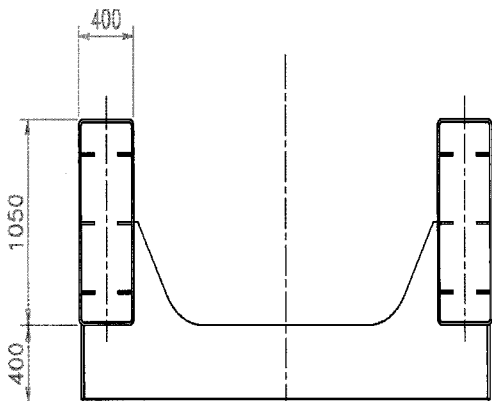


Fig. 3 Section of the JIB for Structure Analysis

Table 3 Mechanical properties of POSTEN60

Item List	Values
Yield strength	451 MPa
Density	$7.81 \times 10^{-6} \text{ kgf} / \text{mm}^3$
Elastic modulus	210GPa
Poisson ratio	0.3

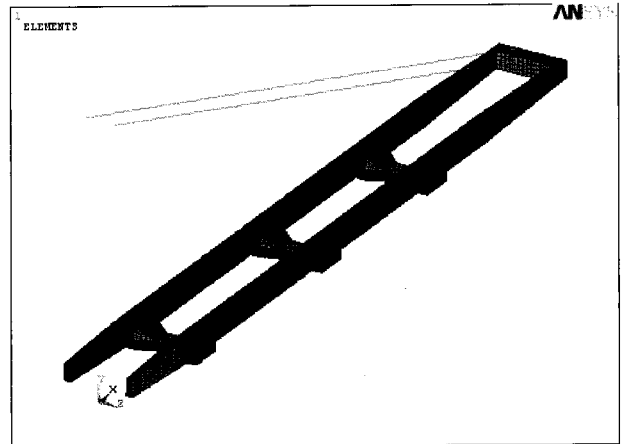


Fig. 4 Meshed Shape of the JIB for Structure Analysis

3.1 경계조건 및 하중조건

경계조건으로 지브와 페데스탈의 결합부에 z방향의 병진변위, x, y방향의 회전변위를 구속하였고, 로프와 조건은 지브의 끝단에 동하중계수 1.1을 고려한 정격하중 432kN을 적용하였고, 자중 140kN을 고려하였다. 지브의 기하학적 형상과 경계조건 및 하중조건을 Fig. 5에 나타내었다.

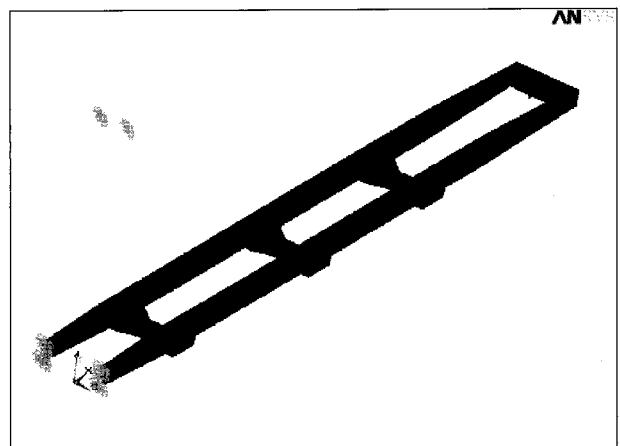


Fig. 5 Loads and boundary condition of the JIB for Structure Analysis

3.1 해석결과

지브의 러핑각도 0도에서 80도까지 유한요소해석을 수행한 결과, 지브와 페데스탈의 이음부에서 최대응력이 발생하였으며, 하중이 작용하는 지브의 끝단에서 최대변위가 나타났다. 각도별로 나타난 응력과 반력의 값을 Table 5에 나타내었으며 그에 따른 그래프를 Fig. 6와 Fig. 7에 나타내었으며, von-Mises응력분포도를 Fig. 8에 나타내었다.

지브의 안전율을 1.8로 고려했을 때, 80도에서 나타난 응력값 255MPa는 항복이 일어나는 값이고, 실제 현장에서는 여러 가지로 응력이 이론보다 크게 나타날 수 있는 요인들, 즉, 해풍, 해수의 흐름, 그리고 외부충격 등이 있는데, 이런 요인들을 고려하면 이 각도에서의 작업을 지양해야 할 것이다. 그리고 반력분포를 살펴보면 응력과 달리 각도가 커질수록 반력의 값이 선형에 가깝게 줄어드는 것을 볼 수 있다.

Table 5 Stress and Reaction Force of the JIB

Luffing angle	Stress(MPa)	Reaction Force(kN)
0	208.649	512.48
10	205.010	508.36
20	205.259	504.13
30	208.275	499.90
40	198.807	495.83
50	200.242	492.08
60	203.101	488.87
70	220.982	486.43
80	255.561	484.97

그리고 현장에서는 지브의 러핑각도가 수직에 가까운 각도에서는 하물을 하역하지 않고 대부분 30도와 60도 사이에서 작업이 이루어진다.

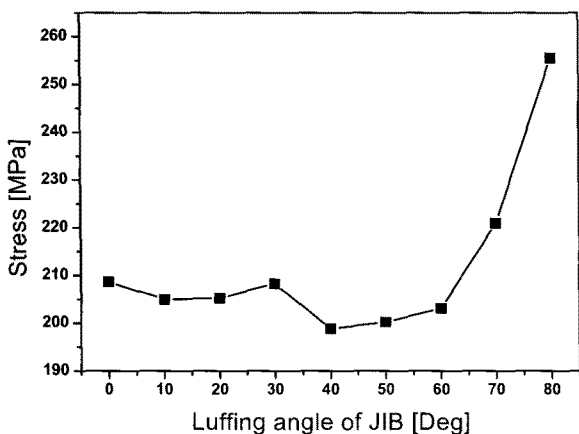


Fig. 6 Von-Mises stress distribution of the JIB

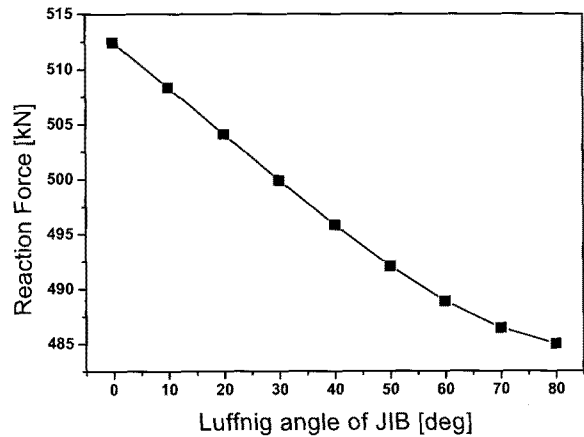


Fig. 7 Reaction force distribution of the JIB

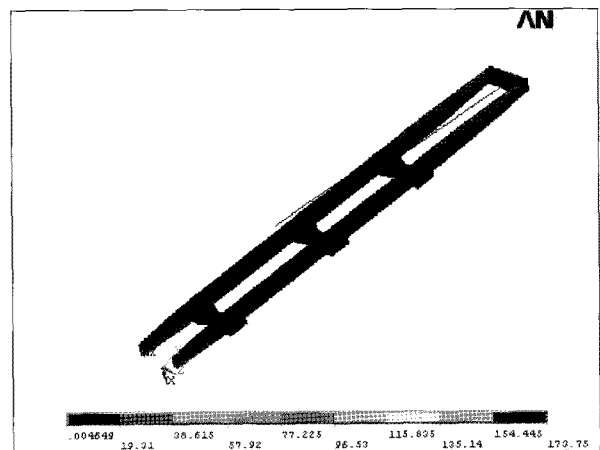


Fig. 8 Stress distribution and Displacement distribution of the JIB

그 각도 사이에서 지브의 재료의 안전율을 1.8로 고려하여 항복강도가 250MPa를 초과하지 않았으며 지브가 안정한 상태인 것을 알 수 있다. 그리고 반력분포를 살펴보면 수직에 가까울수록 반력이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 지브가 작업을 하지 않을 시에는 지브를 수직에 가깝게 세워두는 것이 안전하고 지브에 피로가 가장 작게 일어날 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

지브크레인의 러핑각도별 응력과 반력을 분석하여 지브의 러핑각도가 커질수록 지브의 응력이 증가하고 반력이 감소하는 경향을 보임에 따라 현장에서는 큰 러핑각도에서의 작업을 지양해야 할 것이며 크레인에 무리를 주지 않아야 할 것이고, 반력을 고려해서 지브크레인이 휴지시 지브를 수직에

가깝게 정지시켜서 지브가 피로를 받지 않게 해야 할 것이다. 러핑각도별 좌굴하중과 좌굴응력, 굽힘 응력을 살펴보면서 작업 시 모든 러핑각도에서 큰 압축하중을 받는 것을 알 수 있으며, 많은 작업이 이루어지는 러핑각도 40도에서 50도 사이에서 좌굴이 크게 일어나므로 운전자의 주의가 요구된다. 크레인 은 권상장치, 기복장치, 선회장치 등 주요기구는 각종 안전장치가 철저히 되어 있기 때문에 크레인의 성능에 충실한 운전을 한다면 안전의 확보가 가능하다. 안전의 확보에 무엇보다도 중요한 것은 운전자의 작업환경이므로 각종 계기류의 조작이 간편한 시스템과 그리고 쾌적한 운전실 환경을 조성하고 지브의 작업시와 휴지시 지브의 피로에 대한 운전자의 숙지가 필요하겠다. 운전자가 보다 쉽게 지브의 상태를 알 수 있도록 향후 로드셀(Load cell)과 병합된 연구가 이루어진다면 선박에서 뿐만 아니라 각종 산업현장에서도 안전사고 예방을 비롯한 많은 도움이 기대된다.

후 기

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2006-(C1090-0801-0004))

참고 문헌

1. Korean Standards Association, 1994, "KS A 1627".
2. Han D. S. et al., 2004, "The Effect of Thickness Ratio and Hight Ratio of Inner Beam on Strength and Stiffness of Frame in Shuttle Car for LMTT", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 28, No. 3, pp. 207~211.
3. Lee S. W. et al., 2004, "A Study on Structural Design of Conveyor Frame for High Efficiency Gantry Crane", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 28, No. 10, pp. 941~946.
4. Han G. J., Jeon H. Y. and Lee H. C., 1999, "The Study on the Effect of the Aspect Ratio and Number of Spots on the Compressive Buckling Load of two Rectangular Plates Spot-Welded by FEM", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 11, pp. 191~196.
5. Hong D. K. and Ahn C. W., 2002, "A Study on the Reduction of Over Head Crane's Weight Considering Buckling, Vibration and Strength", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 26, No. 3, pp. 317~322.
6. Ko D. C. et al., 2002, "Design of the Stiffened Punch for Stamping of Lead Frame by Buckling Analysis", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 9, pp. 68~75.
7. ANSYS Inc, 1992, ANSYS User's Manual.