

선박용 JIB 크레인의 러핑각도에 따른 반력 분석

Analysis of Reaction Force of JIB Crane for Shipment According to Luffing Angle

*이문재¹, 한동섭², 이성욱³, #한근조⁴

*M. J. Lee¹, D. S. Han², S. W. Lee³, #G. J. Han⁴(gjhan@dau.ac.kr)

¹ 동아대학교 대학원 기계공학과, ²동아대학교 BK총괄사업단

³동아대학교 대학원 기계공학과, ⁴동아대학교 기계공학과

Key words : JIB Crane, Finite Element Method, Luffing Angle, Ansys Classic 10.0, Reaction Force

1. 서론

현재 지브(JIB) 크레인을 장착한 선박이나 벌크선의 증가로 지브크레인의 수요가 증가하고 있다. 이와 함께 지브부분이 쓰러지거나, 지브가 휘는 등의 사고가 종종 발생하여 대형사고로 이어지는 결과를 종종 볼 수 있다. 기구상의 결함보다는 과도한 양중물량, 안전수칙을 지키지 않는 무리한 작업강행, 노후한 크레인, 운전자의 작업환경 악화 등이 주요 원인이다. 크레인의 사고는 제품의 적기이동을 어렵게 함으로써, 제조원가의 상승은 물론 물류의 흐름을 저해하여 원활한 경제활동을 저해하는 요인으로 작용하게 된다. 특히, 과거에 설치된 구형 크레인은 그 성능이나 안전성 측면에서 매우 낙후되어 있고 인명피해와 재산손실의 원인이 되기 때문에 불안전요소를 제거하여야 하고, 현재 및 향후에 증가하는 물류량을 감당하기 위해서는 현재의 기술수준에 맞게 개량되어야 하며, 성능향상을 시켜야 하고 현대화의 필요성이 대두되고 있다. 하지만 현재 국내업체는 일본과 유럽업체들의 설계를 모방하고 있는 실정이다.

따라서 국내실정에 맞는 JIB의 설계기술이 요구되고 있고, 이를 충족하기 위해서 지브구동시의 에너지 절감을 위한 최적의 러핑각도와 지브의 경량화가 필요하다. 이는 곧 경제적인 측면에서 재료의 절감과 비용경비의 최소화를 추구하는 산업용 크레인에서 있어 매우 중요하고 필수적인 요소라고 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 지브 크레인이 하물을 하역 시 지브의 러핑각도에 따른 지지점의 반력과 지브의 응력을 유한요소해석을 통해 분석하고자 하였다. 러핑각도에 따른 응력과 반력을 분석함으로써 최소응력과 반력이 나타나는 각도를 산출, 하역 시 JIB 크레인의 안정성제고와 함께 지브의 수명연장, 하역 시 필요한 전력량의 최소화에 본 논문의 목적이 있다.

2. JIB 크레인의 구조해석

2.1 유한요소모델

본 논문의 크레인은 몸체에 상하로 움직일 수 있는 지브가 설치되어 지브를 따라 움직이는 크레브에 매달린 달기기구에 의해 하물을 이동시키는 크레인이다. 갑판 상면에 설치, 자체적으로 (크레인이 없는 항구에서도) 사용할 수 있다.

지브의 폭은 2.6 m, 길이는 약 32 m에 이르며 항만에서 구조상 취약점이 나타나는 지브의 끝단에 하물을 매달았을 때의 응력과 반력을 분석하였다. 지브에서의 반력이 페데스탈(pedestal)의 지지점의 반력이라고 볼 수 있다.

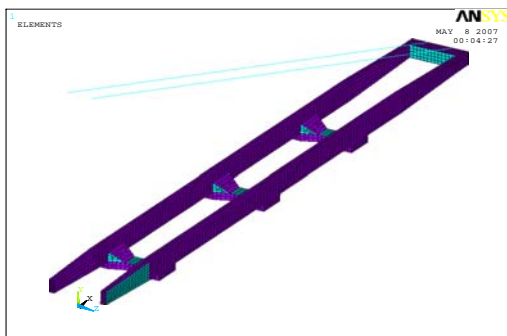


Fig.1 Meshed shape of the JIB for structure analysis

따라서 본 논문에서는 지브만 모델링하여 구조해석을 수행하였다. JIB를 모델링하여 격자 생성한 것을 Fig.1에 나타내었다. 항만에서 쓰이는 하역장비는 경험적으로 부식을 고려하여 최소 판 두께를 6 mm 이상으로 하게 되어 있는 점을 고려하여 15 mm의 판 두께를 적용하였다. 유한요소해석에 사용된 상용 프로그램은 ANSYS 10.0을 이용하였다.

지브의 판은 길이나 넓이에 비해 두께가 얇기 때문에 4절점 쉘요소를 사용하여 사각형요소로 분할하였다. 또한 지브에 정격 하중이 작용하는 지브의 끝부분에는 8절점 솔리드요소를 사용하여 사각형요소로 분할하였다. 그리고 와이어로프에는 링크요소가 사용되었으며 안전율 5를 고려하여 와이어로프의 지름은 130 mm로 하였다. 요소는 등방성, 등질성, 그리고 선형탄성을 가정하고 지브크레인의 킹하우스(kinghouse)의 높이는 12m로 하여 구조해석을 수행하였다. 유한요소모델의 절점수는 6256개이고, 요소수는 6336개이다. 지브크레인에 사용된 재료는 선체구조용 고장력 강재인 DH36이며, 기계적 성질은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of DH36

Item list	Values
Ultimate strength	490 ~ 620 MPa
Yield strength	350 MPa
Density	$7.81 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$
Elastic modulus	210 GPa
Poisson ratio	0.3

2.2 경계조건 및 하중조건

경계조건으로 지브와 페데스탈의 결합부에 z방향의 병진변위, x, y방향의 회전변위를 구속하였고, 로프와 킹하우스의 결합부에 모든 변위를 구속하였다. 하중조건은 지브의 끝단에 정격하중 196kN을 적용하였고, 자중 140kN을 고려하였다. 지브의 기하학적 형상과 경계조건 및 하중조건을 Fig.2에 나타내었다.

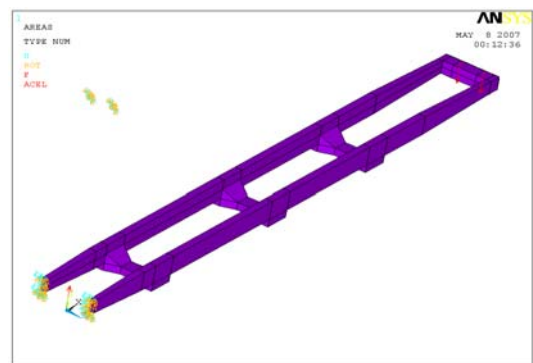


Fig.2 Loading and boundary condition of JIB

3. 결과 및 고찰

3.1 지브의 유한요소해석

지브의 러핑각도 0도에서 80도까지 유한요소해석을 수행한 결과, 지브와 페데스탈의 이음부에서 최대응력이 발생하였으며, 중간부분에서 최대변위가 발생하였다. 그리고 와이어로프와

킹하우스의 결합부에서 가장 큰 반력이 나타났다. 각도별로 나타나는 응력과 반력의 값을 Table 2에 나타내었으며 그에 따른 그래프를 Fig.3과 Fig.4에 나타내었으며, von-Mises 응력분포도를 Fig.5에 나타내었다.

Table 2 Stress and Reaction Force of JIB

Luffing angle	Stress(MPa)	Reaction Force
0	128.57	512480
10	124.18	508360
20	126.39	504130
30	126.95	499900
40	129.95	495830
50	133.78	492080
60	138.69	488870
70	146.56	486430
80	171.74	484970

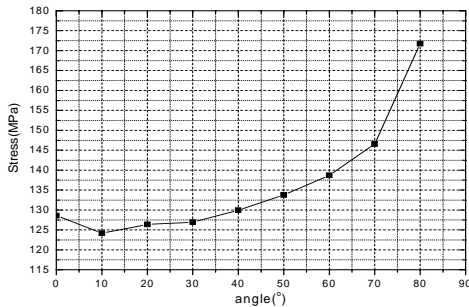


Fig.3 von-Mises stress distribution of the JIB

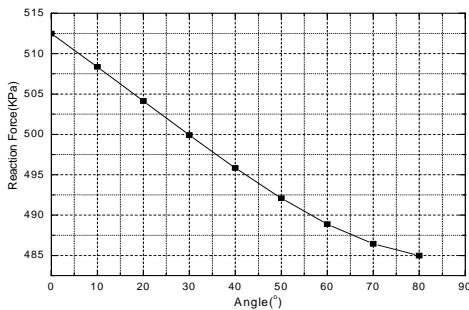


Fig.4 Reaction force distribution of the JIB

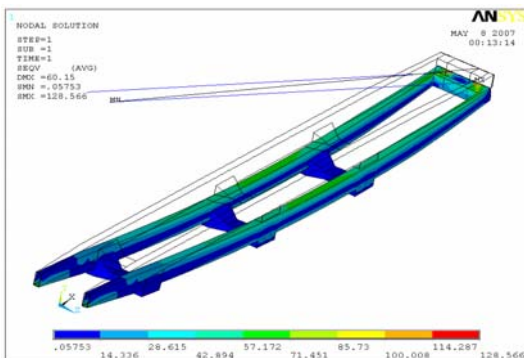


Fig.5 Stress distribution and displacement distribution of the JIB

지브의 안전율을 2.0으로 고려했을 때, 80도에서 나타난 응력값 172MPa는 항복이 일어나지 않는 값이지만, 실제 현장에서는 여러 가지로 응력이 이론보다 크게 나타날 수 있는 요인들, 예를 들어 해풍, 해수의 흐름, 그리고 외부충격 등을 들 수 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.

하지만 현장에서는 지브러핑각도가 수직에 가까운 각도에서는 하물을 하역하지 않고 대부분 30도와 60도 사이에서 작업을 한다. 그 사이에서의 응력을 보면 지브의 재료의 안전율을 2.0으로 고려하여 항복강도가 175MPa를 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 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지브의 응력분포를 살펴보면 0도에서 10도로 가면서 응력이 증가하였고 10도에서 70도까지 비교적 선형으로 증가하였고, 80도에 이르러서 큰 폭으로 응력이 증가하는 양상을 보였다.
2. 지브의 러핑각도가 증가할수록 반력이 감소하는 경향을 보임에 따라 현장에서는 이 점을 고려 크레인이 작업을 하지 않을 시에는 수직에 가깝게 정지시켜서 지브가 피로를 받지 않게 해야 할 것이다.
3. 크레인의 권상장치, 기복장치, 선회장치 등 주요 기구는 각종 안전장치가 철저히 되어 있기 때문에 크레인의 성능에 충실한 운전을 한다면 안전의 확보가 가능하다. 안전 확보에 무엇보다도 중요한 것은 운전자의 작업환경이므로 각종 계기류의 조작이 간편한 시스템과 그리고 쾌적한 운전실 환경을 조성, 그리고 지브의 작업시와 휴지시 지브의 피로에 대한 운전자의 숙지가 필요하겠다.
4. 현장에서의 지브 크레인 설계 시 러핑각도별로 나타난 응력과 반력을 참고해서 지브의 경량화 설계 시 비용 절감의 효과를 가질 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Lee, S., Shim, J., Han, D., Park, J., Han, G., Lee, K., Kim, T., "A Study on Structural Design of Conveyor Frame for High Efficiency Gantry Crane," Journal of KINPR, Vol. 28, No. 10, pp.941~946, 2004.
2. Noh, Y., Hong, D., Choi, S., Ahn, C., Han, G., "Optimum Design of Magnet over Head Crane Girder," Journal of KINPR, Vol. 26, No. 1, pp.241~247, 2002.
3. Han, D., Han, G., Lee, K., Shim, J., Kim, T., "The Effect of Thickness Ratio And Hight Ratio of Inner Beam on Strength and Stiffness of Frame in Shuttle car for LMTT," Journal of KINPR, Vol. 28, No. 3, pp.207~211, 2004.
4. ANSYS Inc., ANSYS User's Manual, 1992.