

레일 불평형이 크레인 대차의 안정성에 미치는 영향 Effects on the Stability of Bogie in a Crane due to the Rail Unbalance

*#정훈형, 김재실

*#H. H. Jung(jove390@changwon.ac.kr), C. Kim
창원대학교 기계공학과

Key words : Bogie, Crane, Rail unbalance

1. 서론

조선 산업에서 사용되고 있는 크레인은 선박용 부품이나 블록 등의 대형 구조물을 인양하거나 운반하기 위해 점차 대형화 되는 추세이다. 대형 크레인은 설계 사양에 따라서 전체 길이가 약 100~250m, 높이가 약 80~100m, 전체 무게가 약 2000~5000ton에 달하는 거대한 구조물이다. 이러한 대형 크레인의 최하단 부에서 크레인 전체 무게를 분산 지지하면서 주행하는 장치인 대차는 레일을 따라서 이동하며 직선부에서 주행안정성을 만족해야한다. 그러기 위해서는 대차의 안정성 확보가 우선적으로 이루어져야 한다.

국내에서는 철도차량용 주행 장치인 대차에 관한 연구는 많이 진행되고 있다. 대차 프레임에 대하여 구조해석을 실시한 후 이를 바탕으로 하중 시험을 통해 강도를 확인하여 대차의 구조 안정성을 평가하였다.[1-2] 그리고 한국형 틸팅열차에 적용되는 용접 주행장치 프레임의 피로강도를 정하중 시험을 통해 평가하였다.[3] 그러나 크레인용 대차에 관한 연구는 다소 미흡한 실정이다.

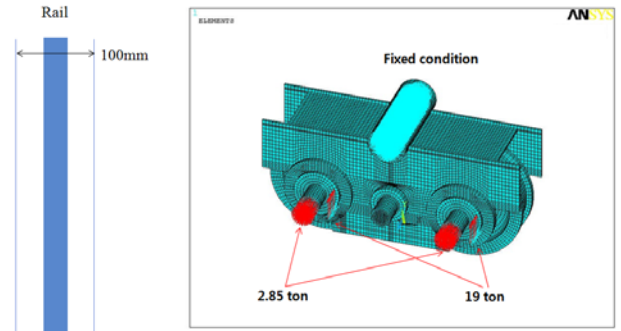
그리고 크레인이 강풍으로 작동을 하지 않는 경우와 설계기본 풍속에서 크레인에 작용될 때, 풍향 변화에 따라서 풍하중이 크레인의 구조적 안정성에 미치는 영향에 대한 분석은 이루어지고 있으며,[4] 크레인과 이를 설치하기 위한 장치에 대한 구조 안정성 해석 기법과 크레인 설치과정에서 다양한 조건의 외력을 고려한 안정성 검토는 이루어졌다.[5] 그러나 레일 불평형 상태에서 크레인 대차 부분의 안정성에 대한 검토는 이루어지지 않았다.

따라서 본 논문에서는 정상 주행 상태와 레일의 불평형 상태에서 대차의 구조적 안정성 해석을 통해 레일의 상태가 대차의 안정성에 미치는 영향에 대해 연구한다.

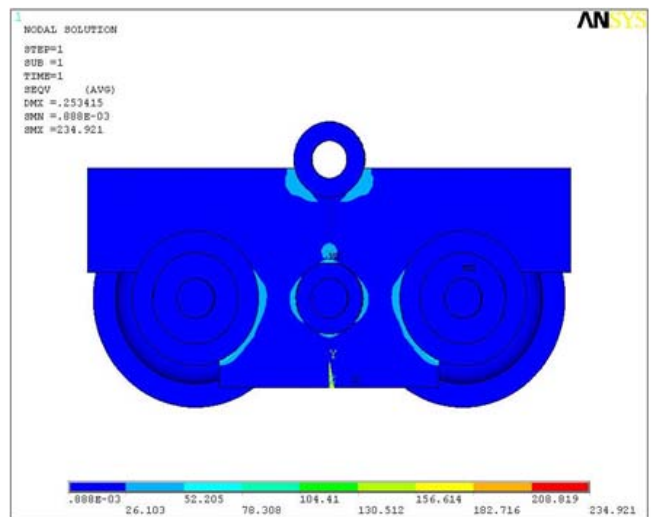
2. 정상 주행 상태

크레인 대차의 정상적인 조립 및 설치조건일 경우에 주행 레일의 편차 발생 등에 따라서 크레인 설계 기준 외의 외력이 작용할 수 있다. 주행 레일의 설치 상태는 크레인의 품질 및 성능보장에 있어 매우 중요한 요인이며 안정성을 보장하기 위해 특히 중요하다. Fig. 1의 (a)는 레일이 수평, 수직 상으로 극히 정상인 상태에서 대차의 차륜과 레일의 접촉면을 나타내고 있으며 레일의 폭이 100mm이고 차륜의 폭은 125mm이다. 실질적으로 차륜과 레일의 기하학적 형상에 따라서 전체 면이 접촉하지는 않는다. (b)는 대차의 유한요소 모델을 나타내고 있으며 하중 및 경계조건을 표시하고 있다. 대차의 상부 힌지 부분을 모두 고정하고 두 차륜의 하부에 수직 하중을 적용하였다. 그리고 차륜의 축 방향으로 수평하중을 적용하였다. 크레인 제조사에서 제공한 대차의 허용 가능한 최대 수직 하중이 약 19ton이며, 최대 수평 하중이 약 2.85ton 이다.

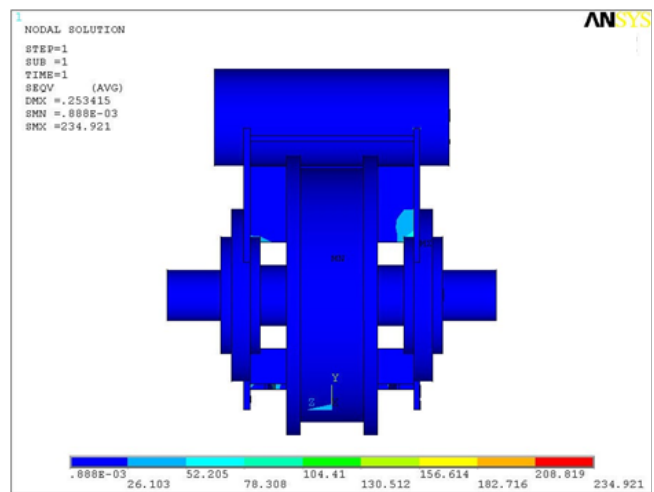
Fig. 2는 정상 주행 상태에서 구조 해석을 수행한 결과 대차의 응력 분포와 변형량을 나타내고 있다. (a)에서 대차 프레임의 중앙부분과 구동 기어의 축이 연결되는 부분에서 최대 응력이 234.92MPa이 발생하였다. (b)에서 대차 프레임과 차륜의 축이 만나는 부분에서 최대 변위가 0.25mm이다. 이처럼 대차가 정상 주행 상태일 때 구조적으로 안정한 상태이다.



(a) Contact surface on the rail (b) Finite element model of bogie
Fig. 1 Running of steady state

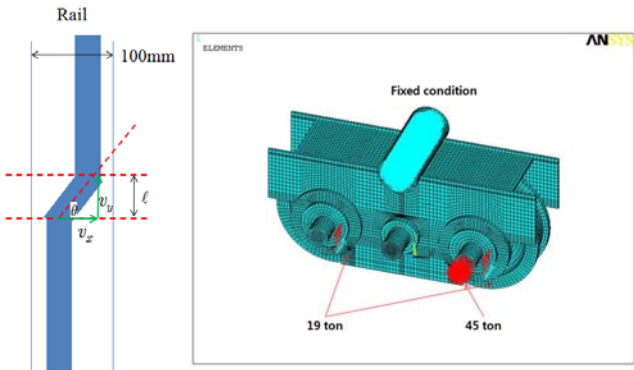


(a) Front view



(b) Side view

Fig. 2 Structural analysis of steady state



(a) Contact surface on the rail (b) Finite element model of bogie
Fig. 3 Condition of rail unbalance

3. 레일 불평형의 영향

Fig. 3의 (a)는 레벨 편차, 레일 게이지, 레일 평탄도 등이 허용 범위를 초과하여 매우 열악한 여건으로 레일이 불평형한 상태에서 차륜의 미끌림이 발생하여 레일의 접촉면이 직선성을 유지하지 못하고 대각선 방향으로 이동함으로써 발생한 충격력을 나타내고 있으며, (b)는 대차의 유한요소 모델을 나타내고 있으며 하중 및 경계조건을 표시하고 있다. 앞서 정상 주행 상태일 경우와 동일한 수직 하중을 적용하였고 미끌림으로 발생한 충격력은 다음과 같이 계산되었다.

크레인 동작 속도가 최대 주행속도의 80%정도라고 가정하면

$$v_{max} = 30[m/min] = 0.5[m/s] \quad (\text{Travelling speed})$$

$$v_o = v_{max} \times 80\% = 0.4[m/s] \quad (\text{Operating speed})$$

레일의 불평형에 의한 차륜의 순간 미끌림 거리는 다음과 같다.

$$l = v_o \times t, \quad l \approx 0.04[m]$$

여기서

$$t = 0.04/0.4 = 0.1[s] \quad (\text{Slipping time})$$

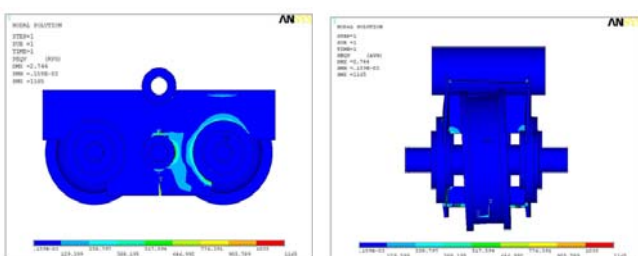
$$\theta \approx 45^\circ \quad (\text{Slipping angle})$$

X방향 충격량 공식에 의해서[6]

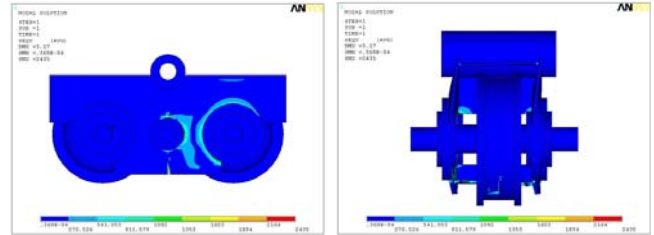
$$F_x \Delta t = m(v_{ax} - v_{bx})$$

$$F_x = \frac{m \times v_o \sin 45}{\Delta t} = \frac{19 \times 0.4 \times \sin 45}{0.1} = 53.74[ton]$$

크레인 제조사에서 제공한 차륜과 축의 억지끼워맞춤 저항력 F_a 가 35ton으로써 $F_x > F_a$ 이다. 즉, 레일의 미끌림에 의해 F_x 가 발생하고 그 값이 F_a 보다 크기 때문에 억지끼워맞춤이 해제될 수 있다. 단, 미끌림 길이가 커서 미끌림 시간이 늘어나고 충격력이 작아진다면 안정한 상태를 유지할 것이다.



(a) Front view (b) Side view
Fig. 4 Structural analysis of the rail unbalance



(a) Front view (b) Side view

Fig. 5 Structural analysis for the repetitive horizontal force

Fig. 4는 레일이 불평형한 상태에서 대차의 응력 분포와 변형량을 나타내고 있다. 여기서 최대응력이 항복강도를 초과하여 변형이 발생하였다.

차륜의 미끌림 현상으로 충격력이 작용하여 차륜과 축의 억지끼워맞춤이 해지된 상태에서 크레인을 계속 운용하게 되면 충격력이 반복적으로 작용하게 된다. Fig. 5는 이러한 경우에 대한 구조 해석을 수행한 결과로써 대차 프레임의 변형이 점차 심하게 발생하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

- (1) 정상 주행 상태에서 수직하중과 수평하중이 작용했을 경우에 최대 응력이 234.92MPa, 최대 변위가 0.25mm로써 안정한 상태이다.
- (2) 레일이 불평형한 상태에서 대차의 구조 안정성에 대한 검토를 실시한 결과 차륜의 미끌림에 의해 충격력이 발생하고, 그 값이 허용치보다 크기 때문에 최대 응력이 항복강도를 초과하여 변형이 발생하였다.
- (3) 차륜과 축의 분리 후에도 충격력이 작용할 경우에 최대 응력이 증가하여 반복적인 수평 하중이 작용함으로써 변형이 점차 심해질 것이다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. W. K. Kim, S. C. Yoon, S. T. Kwon, O. J. Park, "A Comparison on Structure Analysis and Load Test of Driving Bogie for Electrical Multiple Unit," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Conference, 2005.
2. W. K. Kim, S. C. Yoon, C. S. Jun, S. T. Kwon, "A Study on Load Test of Bogie for High Speed Electrical Multiple Unit," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Conference, 2005.
3. J. S. Kim, N. P. Kim, S. I. Seo, "Experimental Study on the Bogie Frame of Tilting Railway Vehicle for Assessment of Structural Safety," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 1, pp.166-173, January 2006.
4. S. K. Kwon, G. J. Han, J. J. Shim, D. S. Han, S. W. Lee, "A Study on Stability of the Container Crain with respect to the Direction of wind Load," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Conference, 2005.
5. H. H. Jung, "A Study on the Stability of Mast for Establishing and Erecting an One-girder Gantry Crane," Master's thesis, Changwon National University, 2008.
6. Anthony Bedford, Wallace Fowler, "Engineering Mechanics Dynamics," ADDISON-WESLEY, 213-259, Second edition.