

기계실 위치 변화가 고효율 갠트리 크레인의 안정성에 미치는 영향 분석

이성욱*(동아대 대학원 기계공학과), 한근조(동아대 기계공학과),
심재준, 한동섭, 권순규(동아대 대학원 기계공학과), 김태형(경남정보대 기계자동차산업계열)

The Effect of Machinery House Location on the Stability of High Efficiency Gantry Crane

S. W. Lee(Mech. Eng. Dept., DAU), G. J. Han(Mech. Eng. Dept., DAU),
J. J. Shim, D. S. Han, S. G. Gwon(Mech. Eng. Dept., DAU), T. H. Kim(Mech. Eng. Dept., KIT)

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the effect of machinery house location on the stability of high efficiency gantry crane which can improve the productivity of the container transportation work by reducing cycle time. The wind load was evaluated according to 'Load Criteria of Building Structures' enacted by the ministry of construction & transportation. The uplift forces of high efficiency gantry crane under this wind load were calculated by analyzing reaction forces at each supporting point. And variation of reaction forces at each supporting point was analyzed according to machinery house location.

Key Words : Gantry crane(갠트리 크레인), Wind load(풍하중), Uplift force(전도력), Machinery house(기계실)Structural stability(구조 안정성)

1. 서론

경제의 세계화 진전에 따라 세계 컨테이너 물동량은 연평균 7% 내외의 높은 성장세가 지속되고 있으며, 이에 따라 컨테이너선박의 투입이 증가되고 있다. 그러나 1984년 미국 신해운법 발효 이후 세계 정기선 해운의 경쟁심화로 인하여 저운임 환경에서도 경쟁력을 갖추기 위해 컨테이너 단위당 운송비가 저렴한 컨테이너선의 대형화가 크게 진전되어 향후 10년 이내에 12,000TEU급의 초대형 컨테이너선박이 취항할 것으로 전망되고 있다.

컨테이너선박이 이와 같이 초대형화됨에 따라 해상물류와 항만에도 큰 영향을 미치게 되어 초대형 컨테이너선의 기항 항만 수는 적어지는 대신 한 항만에서 이루어지는 양·적화 컨테이너 화물 수는 증가하게 되었다. 즉 초대형 컨테이너선이 기항하는 항만은 물류중심항만(Hub Port)이 되고, 인근의 타항만은 피더항(Feeder Port)으로 구분되면서 항만의

기능 및 기존 처리물동량 서열이 바뀌게 될 것으로 예상되고 있다.¹

따라서 각 나라의 주요 항만은 물류중심항만이 되기 위해 컨테이너선박의 재항시간과 환적비용을 절감하기 위한 항만시설이나 장비, 하역시스템에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국내의 경우에도 항만 하역장비 분야의 주 연구테마인 갠트리 크레인의 흔들림 제어에 관한 연구뿐만 아니라 초대형 컨테이너선박에 적합한 구조와 작동방식 및 자동화에 관한 연구가 중점적으로 수행되고 있다.

특히 최근에는 대부분의 국내 크레인 제작사들이 가격면에서 중국에 크게 뒤져 국제 경쟁력이 크게 위축되게 되었다. 따라서 이를 극복하기 위한 방안으로 기술력을 바탕으로 한 고부가가치 크레인 개발 연구를 수행함으로써 기존 크레인의 메인 트롤리(Main-trolley), 서브 트롤리(Sub-trolley) 및 엘리베이터(Elevator)의 분업을 통하여 하역능력 및 야드(yard)의 운영효율을 향상시킬 수 있는 새로운 타입의 고

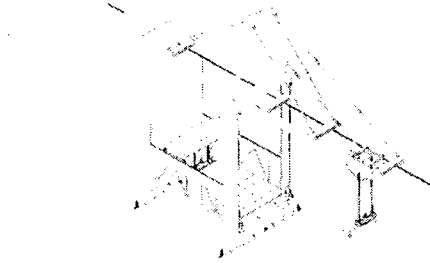


Fig. 1 A drawing of TTES gantry crane

효율 갠트리 크레인인 김 등²에 의하여 2000년 개발되었다. 그리고 이 등³은 하역능력 개선을 위해 개념적으로 설계되어 있던 고효율 갠트리 크레인에서 하중을 가장 크게 받게 되는 컨베이어 프레임에 대한 치수최적설계를 실시함으로써 강도 및 강성적으로 충분한 안전율을 가지면서도 경량화를 꾀할 수 있는 고효율 갠트리 크레인용 컨베이어 프레임을 설계하였다.

그러나 갠트리 크레인은 차폐물이 거의 없는 항만에 설치되어 사용되며, 자체 높이가 현재 항만에서 주로 사용되고 있는 50ton급 갠트리 크레인의 경우 계류 시(붐(Boom)을 올렸을 경우) 최대 100m에 달하게 되므로 바람에 매우 큰 영향을 받게 된다. 특히 2003년 태풍, 내습 시에는 부산항의 신감만 및 자성대 부두에서 강풍에 의하여 총 11기의 갠트리 크레인이 파손되어 부산항의 기능을 일부 마비시킴으로써 막대한 물류 손실을 가져오기도 하였다.

따라서 본 연구에서는 개발된 고효율 갠트리 크레인의 풍하중에 대한 구조적 안정성을 검토하기 위하여 강풍에 대비하여 고정장치를 설치하는 계류상태(Stowed mode)에서 건축물 및 구조물의 내풍설계에 보편적으로 적용되는 건설교통부의 '건축물하중기준'에 제시된 풍하중 설계 지침을 참고로 하여 고효율 갠트리 크레인에 작용되는 풍하중을 계산하고 전체 자중의 15% 가량을 차지하는 기계실의 위치 변화가 컨테이너 크레인의 구조적 안정성에 미치는 영향을 유한요소해석을 통하여 분석하였다.

2. 유한요소해석

2.1 고효율 갠트리 크레인의 유한요소모델

본 연구의 모델인 고효율 갠트리 크레인은 기존 갠트리 크레인에 부착된 트롤리와 스프레더의 작업 범위를 줄여 컨테이너 하역작업을 배와 육상으로 분업화한 것이다. 기존 트롤리와 스프레더는 배에서 컨테이너를 인출하여 엘리베이터까지 이송하는 역할을 담당하도록 하고 엘리베이터로 이송된 컨테이너

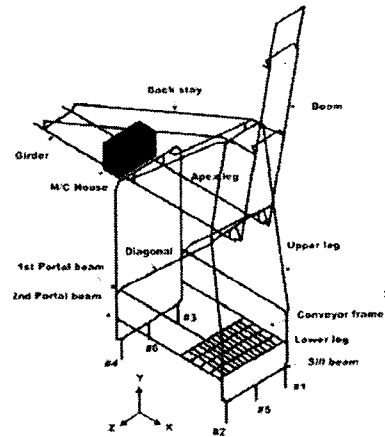


Fig. 3 Structural skeleton drawing of a TTES gantry crane

는 하부의 컨베이어로 전달되어 서브 트롤리에 의해 대기하고 있는 트레일러에 적재되는 것이다. Fig. 1은 고효율 갠트리 크레인 TTES(Two Trolley Elevator System)의 구조를 나타내고 있으며, Fig. 2는 이것을 이용한 하역작업과정을 설명하고 있다.

이와 같은 고효율 갠트리 크레인의 구조적 사양은 권상용량(Lifting capacity) 50ton, 아웃리치(Out reach)가 51m, 레일 스패ن(Rail span / 해측과 육측 레그간의 거리)이 30.5m, 지상에서 붐(Boom) 및 거더(Girder)까지의 높이가 40m, 계류 시 지상에서 붐 끝단까지의 높이가 100m에 달하는 대형 구조물이다.

따라서 본 연구에서는 해석시간을 단축하면서도 해석의 신뢰성을 높이기 위하여 고효율 갠트리 크레인의 각 부재를 각기 특성에 맞는 요소를 선택하여 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 8.1을 이용하여 유한요소모델을 구성하고 해석을 수행하였다.

고효율 갠트리 크레인 상·하부 레그나 붐과 거더를 연결하는 스테이(stay), 실 빔(sill beam), 포탈 빔(portal beam) 등은 부재의 단면이 비대칭형을 가지고 있으므로 절점당 6개의 자유도(ux, uy, uz, rotx, roty, rotz)를 가지는 3차원 대칭 보요소를 사용하였으며, 붐과 거더 등은 스프레더를 이송시키기 위한 레일이 설치되어야 하는 구조상의 특징으로 인하여 부재의 단면이 비대칭형으로 되어 있으므로 이러한 특징을 효과적으로 나타낼 수 있는 3차원 비대칭 보요소를 사용하였다. 그리고 전체 자중의 15% 가량을 차지하며 거더 상부에 위치한 기계실은 자체의 자중을 고려하기 위하여 절점당 3개의 자유도를 가지는 육면체 요소를 사용하여 적합한 밀도를 부과하였다.⁴

Fig. 3은 본 연구에서 사용된 고효율 갠트리 크레인의 개략도를 나타내고 있으며 Table 1은 유한요소해석에 사용된 재료의 기계적 물성치이다.

Table 1 Mechanical properties of each material

Material	Elastic Modulus	Density	Yield Strength	Tensile Strength
SM490Y	210 GPa	7800 kgf/m ³	350 MPa	490 MPa
STK400	210 GPa	7800 kgf/m ³	235 MPa	400 MPa

2.2 기계실의 위치

전체 자중의 15% 가량을 차지하는 기계실의 위치 변화에 따른 고효율 갠트리 크레인의 안정성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 상부 레그(upper leg), 붐, 거더가 만나는 지점을 원점으로 하고 기계실(Machinery house) 중심까지의 거리를 D로 할 때 D=13, 20, 36m의 3가지 경우에 대하여 지지점에서의 반력을 비교·분석하였다.

2.3 풍하중 산정

본 연구는 풍하중이 갠트리 크레인에 작용할 때 기계실의 위치 변화에 따른 지지점에서의 반력을 검출하여 풍하중에 대한 갠트리 크레인의 안정성을 분석하므로 풍하중을 설정하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 건축물 및 구조물의 내풍설계에 보편적으로 적용되는 건설교통부의 '건축물하중 기준'에 제시된 풍하중 설계 지침을 참고로 하여 고도에 따른 풍하중을 산정하여 유한요소해석에 적용하였다.

$$W = C_f \cdot G_f \cdot q_z \cdot A \quad (1)$$

$$q_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_z^2 \quad (2)$$

$$V_z = V_0 \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w \quad (3)$$

- W : 설계풍력 (kgf)
- C_f : 풍력계수
- G_f : 거스트 계수
- q_z : 설계속도압 (kgf/m²)
- ρ : 공기밀도 (0.125 kgf · m⁻³)
- V_z : 높이 z에서의 설계풍속
- V₀ : 기본풍속
- K_{zr} : 풍속의 고도분포계수
- K_{zt} : 지형에 의한 풍속할증계수
- I_w : 중요도 계수

식(1)~(3)은 '건축물하중기준'에 따른 풍하중 산출식이다. 이 기준에서 기본풍속은 통계년수 20년 이상인 전국 56개 기상관측소의 측정 기록을 바탕으로 설정된 것으로 노풍도가 C인 지역의 지표면으로부터 10m 높이에서 측정된 10분간 평균풍속에 대한 100년 재현기대풍속을 지형을 고려하여 정한 풍속을

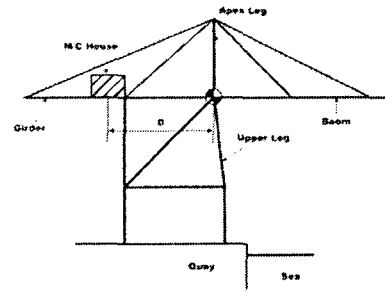


Fig. 4 Definition of machinery house location

의미한다. 부산의 경우 기본풍속은 40m/s로 설정되어 있으며, 이를 순간최대풍속(3초 평균)으로 환산시 약 55m/s에 해당하게 된다.⁵

본 연구에서는 식(1)~(3)을 이용하여 해측에서 육측으로 풍하중이 작용하는 경우(case 1)와 레일 방향으로 풍하중이 작용하는 경우(case 2)에 대하여 고효율 갠트리 크레인의 구조적 안정성을 분석하였다.

2.4 경계조건

Fig. 3의 고효율 갠트리 크레인에서 차륜(truck)부와 타이다운(tie-down)으로 이루어진 #1~#4 지지점은 모든 축방향 변위가 고정(ux=uy=uz=0)되었으며, 스토이지 핀(stowage pin)으로 구성된 #5, #6 지지점은 핀이 핀 컵에 꽂혀 있으므로 ux와 uz 방향만을 고정하였다. 그리고 붐과 거더의 연결부는 핀으로 연결되므로 서로의 연결부는 각각 모델링하여 절점의 ux, uy, uz 병진 자유도만을 일치시켜 연결부에서 회전변위 구속으로 인한 모멘트가 발생하지 않도록 하였으며, 거더 및 붐과 연결되는 스테이들도 핀으로 연결되므로 동일한 방법으로 각각의 실제 변형을 구현할 수 있도록 적절한 병진 자유도를 일치시켰다.

Fig. 5는 각 지지점에 적용된 경계조건을 나타내고 있다.

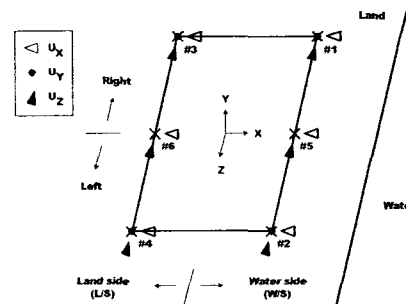


Fig. 5 Boundary conditions of a TTES gantry crane

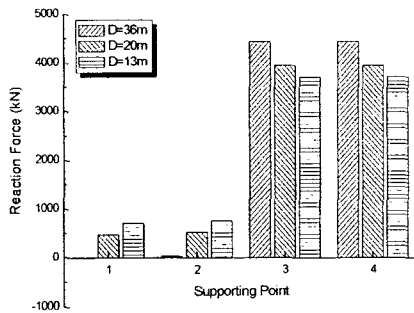


Fig. 6 Y-direction reaction forces of each supporting point at case 1

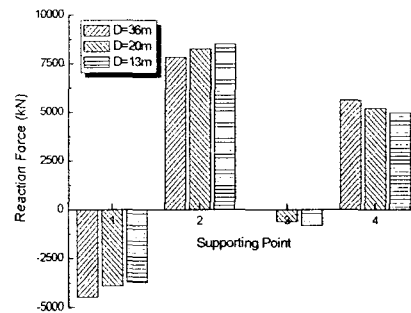


Fig. 7 Y-direction reaction forces of each supporting point at case 2

3. 해석결과 및 고찰

Fig. 6은 해측에서 육측으로 풍하중이 작용하는 case 1에서 각 지지점의 수직반력을 나타낸 것이다.

Case 1의 경우에는 #3과 #4 지지점을 기준으로 크레인이 전도되려 하므로 #3과 #4 지지점에서 압축 반력(+방향)이 크게 발생하였으며, #1과 #2 지지점에서는 고효율 갠트리 크레인이 전도되려 하므로 압축력이 상대적으로 낮게 발생하였다. 그리고 전체 자중의 15% 가량을 차지하는 기계실의 위치가 변화함에 따라 크레인의 무게 중심이 변화하게 되었다. 특히 기계실이 육측 레그 후방에 위치하는 D=36m인 경우에는 #1 지지점에서 11kN 가량의 인장력이 발생하였으나 기계실이 D=20m, 13m로 해측 레그 부근으로 이동함에 따라 인장력 대신 압축력이 각각 481kN, 715kN 가량 발생하게 되었다.

Fig. 7은 레일방향으로 풍하중이 작용하는 case 2에서 각 지지점의 수직반력을 나타낸 것으로 풍하중이 해측에서 육측으로 작용되는 case 1과 달리 #2와 #4를 기준으로 고효율 갠트리 크레인이 전도되려 하므로 #2과 #4 지지점에서는 압축력이, #1과 #3 지지점에서는 인장력이 발생하는데, case 2에서는 case 1과 달리 기계실과 크레인의 구조적 비대칭성으로 인하여 #1과 #3, #2와 #4 지지점의 반력이 크게 차이나는 것을 확인할 수 있다.

그리고 case 2에서도 기계실의 위치가 육측으로 이동함에 따라 육측 지지점인 #1과 #2 지지점에서는 인장력이 감소하고 압축력이 증가되었으며, #3과 #4 지지점에서는 그 반대의 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

기계실의 위치 변화가 고효율 갠트리 크레인의 풍하중에 대한 안정성에 미치는 영향을 분석한 결과 기계실은 크레인 전체 자중의 15% 가량을 차지하는

고(高)중량체이므로 그 위치에 의하여 각 지지점에서 발생하는 반력이 크게 변화되었으며, 기존 크레인을 TTES화 할 경우 컨베이어 프레임의 자중에 의해 해측의 각 지지점에서 약 200kN 이상의 인장력 감소효과를 발생시키게 되므로 풍하중 작용 시 기존 크레인보다 고효율 갠트리 크레인이 전도에 대한 복원성이 더 우수하였다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Yang, C. H., Kim, C. G., Choi, J. H., Choi, S. H., Choi, Y. S. and Lee, J. H., "A Study on Technology and Development Strategy of Next-Generation Port Loading and Unloading System to Prepare for Ultra Large Container-ship," Korea Maritime Institute, 2002.
2. Kim, K. H., Lee, Y. J., Lee, J. W. and Lee, K. S., "A Design and Characteristic Analysis of High Efficiency Gantry Crane," J. of KINPR, Vol. 14, No. 4, pp. 395-406, 2000.
3. Lee, S. W., Shim, J. J., Han, D. S., Park, J. S., Han, G. J., Lee, K. S. and Kim, T. H., "A Study on Structural Design of Conveyor Frame for High Efficiency Gantry Crane," J. of KINPR, Vol. 28, No. 10, pp. 941-946, 2004.
4. Lee, S. W., Shim, J. J., Han, D. S., Park, J. S., Han, G. J., Lee, K. S. and Kim, T. H., "The Effect of Wind Load on the Stability of a Container Crane," J. of KSPE, Vol. 22, No. 2, pp. 148-155, 2005.
5. The Ministry of Construction & Transportation, "Load Criteria of Building Structures," 2000.