

## 풍향에 따른 고효율 갠트리 크레인의 안정성에 관한 연구

권순규(동아대학교 기계공학과 대학원), 한근조(동아대학교 기계공학과)  
심재준, 한동섭, 이성욱(동아대학교 기계공학과 대학원)

### A Study on Stability of the Container Crane with respect to the Direction of wind Load

S. K. Kwon(Mech. Eng. Dept., DAU), G. J. Han(Mech. Eng. Dept., DAU),  
J. J. Shim, D. S. Han, S. W. Lee(Mech. Eng. Dept., DAU)

#### ABSTRACT

This study evaluate the statical stability of the container crane with respect to the direction of wind load which is varied between 0° and 180° and its average velocity is 40m/s. Using wind experimental data and a formula of wind pressure, we figured out the wind load needed to perform a finite element analysis. And we can obtain the variation of reaction forces at each supporting point according to the direction of wind load.

**Key Words :** 갠트리 크레인(Gantry Crane), 풍하중(wind load), 전도모멘트(Overturning Moment)

#### 1. 서론

1970년대 말부터 규모의 경제를 바탕으로 세계 경제가 발전함에 따라 년간 1억 2000만TEU의 물동량의 증가에 이르게 되었다. 그와 동시에 선박의 수 증가와 더불어 규모 또한 커지게 되었다. 현재 국내의 H社에서 1만TEU급 선박을 수주한데 이어, S社는 1만2000TEU급 선박을 개발 완료 후, 영업에 들어간 실정이다. 이렇게 선박의 규모가 증가하면서 초대형 컨테이너선은 고선가의 자본 부담으로 운항스케줄상 재항시간 단축을 위해 선택적으로 몇몇 항만에만 기항할 수밖에 없다. 따라서 특정항만에 초대형선의 기항을 결정하는 요인은 항만비용이 저렴해야 하며, 항만에서 화물을 양·하적하는 시간을 포함한 재항 시간을 단축시킬 수 있는 신속한 하역작업이 가능해야 한다. 저렴한 항만비용과 신속한 하역작업이 이루어지기 위해서는 컨테이너 크레인 하역과 동시에 물류의 병목현상이 없이 흘러 갈 수 있도록 하는 것이 향후 중요한 기술개발분야이다.

이런 항만 장비 중 핵심이 되는 컨테이너 크레인은 효율성 증가를 위해 분업화된 고효율 갠트리 크레인이 김 등<sup>1</sup>에 의하여 2000년 개발되었다.

이 갠트리 크레인은 기존 크레인의 매인 트롤리

(Main-trolley), 서브 트롤리(Sub-trolley) 및 엘리베이터(Elevator)의 분업을 통하여 하역능력 및 야드(yard)의 운영효율을 향상시킬 수 있는 새로운 타입이다. 그리고 이 등<sup>2</sup>은 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.

이런 고효율 갠트리 크레인은 자중이 1000ton에 육박하는 거대 구조물로써 차폐물이 거의 없는 항만에 설치되어 사용되어지고 있다. 특히 항만에 설치되어 있는 관계로 풍하중의 영향을 피할 수 없으며 태풍과 같은 극한의 풍하중 상황에 놓여 질 경우에 대한 충분한 대비가 없다면 막대한 손실을 가져올 수 있다. 그 예로 2003년 태풍매미 내습 시에는 부산항의 신감만 및 자성대 부두에서 강풍에 의하여 총 11기의 갠트리 크레인이 전도되어 부산항의 기능을 마비시킴으로써 막대한 손실을 가져오기도 하였다.

그러므로 본 연구에서는 고효율 갠트리 크레인이 강풍에 대비하여 작동을 하지 않는 계류 시에 '건축물하중 기준'에 의한 부산지방 설계기본 풍속인 0m/s

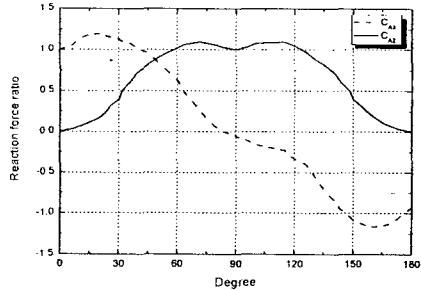


Fig. 1 Reaction force ratio investigated by wind tunnel test

(10분 평균)가 컨테이너 크레인에 작용될 때, 풍향과 변화하는 풍하중이 컨테이너 크레인의 구조적 안정성에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다.

## 2. 유한요소 해석

### 2.1 풍하중의 분석

본 연구에 적용된 풍하중은 L社의 풍동실험 결과를 참고하여 고효율 갠트리 크레인의 각 부재의 풍압계수를 산정하였으며, 식 (1)과 같은 건축물 하중 기준<sup>2)</sup>에 의해 풍하중을 산출하였다. 또한, 풍향에 따른 영향을 고려하기 위해 L社의 풍동실험을 통하여 얻어진 각도별 angle factor<sup>3)</sup>를 고려하였다.

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

$P$  : 설계풍력 (kgf)

$C_f$  : 풍력계수

$G_f$  : 거스트 계수

$C_A$  : 풍향계수(angle factor)

$q_z$  : 설계속도압 (kgf/m<sup>2</sup>)

$A$  : 수압면적

Fig. 1은 각도변화에 따른 풍하중의 변화의 비를 나타내는 L社의 풍동실험 결과이다.

본 연구에서는 이 결과를 참고하여 0°~ 80 사이를 15 간격으로 분할하여 풍향 변화에 따른 고효율 갠트리 크레인의 안정성을 분석하였다.

Fig. 2는 고효율 갠트리 크레인에 작용되는 풍하중의 방향을 나타내고 있다. 실험결과에서 θ는 육측을 기준으로 0°에서 80 까지 변화하는 풍향의 방향으로 결과를 나타내었다.

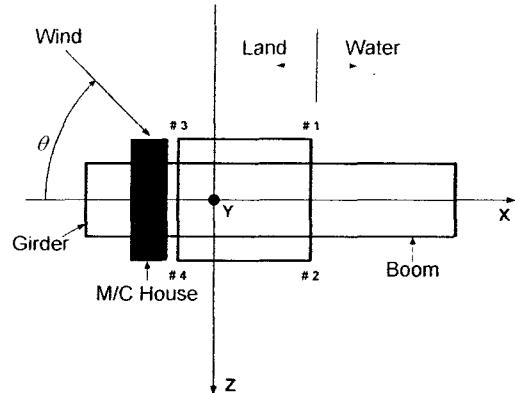


Fig. 2 Container crane under wind pressure

### 2.2 고효율 갠트리 크레인의 유한요소모델

본 연구에서는 고효율 갠트리 크레인의 계류 시형상을 기준으로 하여 Fig. 3과 같이 유한 요소모델을 구성하였다.

그리고 본 연구에서는 해석시간을 단축하면서도 해석의 신뢰성을 높이기 위해 고효율 갠트리 크레인의 각 부재를 각각 특성에 맞는 요소를 선택하여 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 8.1을 이용하여 유한요소모델을 구성하고 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 요소는 Stay(스테이), Sill beam(실 빔), Portal beam(포탈빔) 등은 부재의 단면이 대칭형상을 가지고 있으므로 절점당 6개의 자유도(ux, uy, u<sub>Z</sub>, rot<sub>x</sub>, rot<sub>y</sub>, rot<sub>z</sub>)를 가지는 3차원 대칭 보요소를 사용하였으며, 봄과 거더 등은 스프레더 이송을 위한 레일이 설치되어야 하는 구조상의 특징으로 인하여 부재의 단면이 비대칭형으로 되어 있으므로 이러한 특징을 효과적으로 나타낼 수 있는 3차원 비대칭 보요소를 사용하였다. 자중의 15%를 차지하는 기계실은 자체의 자중을 고려하기 위하여 절점당 3개의 자유도를 가지는 육면체 요소를 사용하여 적합한 밀도를 부과하였다.<sup>3)</sup> 또한, 본 연구에서 사용된 고효율 갠트리 크레인의 유한요소모델 생성시 절점간의 높이 차를 최대 6m 이하로 하여 해석시 풍하중을 각 절점 높이에 대응하는 풍압으로 적용하여 계산하였다.

Table 1은 유한요소해석에 사용된 재료의 기계적 물성치를 나타낸다.

Table 1. Mechanical properties of each material

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

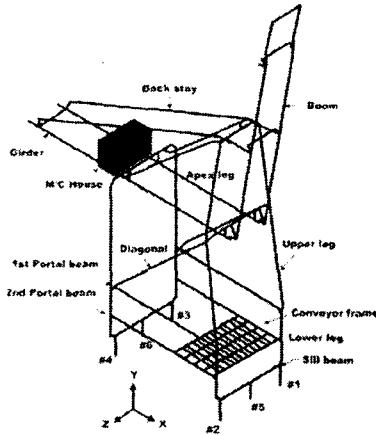


Fig. 3 Structural skeleton drawing of a TTES gantry crane

### 2.3 경계조건

고효율 갠트리 크레인에서 각 부재는 용접으로 연결되어 있으나, Boom과 Girder의 연결 부분은 판으로 연결되어 있기 때문에 유한요소 해석에서는 이러한 연결 부분을 최대한 실제 구조물과 유사하게 고려하기 위하여 연결부분의 병진변위를 서로 일치시켰다.

Fig. 4는 해석에 적용된 경계조건을 나타낸 것으로  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$ 는 각 방향에 대한 변위 구속을 의미한다. #1, #2, #3, #4번 지점은 Tie-down부로서 X, Y, Z 방향의 움직임을 모두 구속하였으며 #5, #6번 지점은 Stowage pin부로 X, Z방향의 변위만 구속하였다.

하중은 풍동시험 결과를 바탕으로 계산된 결과를 각 절점에 X, Z방향으로 0? ~ 180?에서 5간격으로 나누어서 작용하였다.

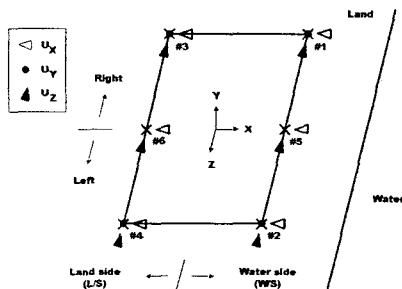


Fig. 4 Boundary conditions of a TTES gantry crane

### 3. 해석결과 및 고찰

#### 3.1 풍향에 따른 갠트리 크레인의 반력분포

Fig.5(a)~(c)는 풍향 변화에 따른 각 지점의 Y축 방향의 반력을 나타내고 있다.

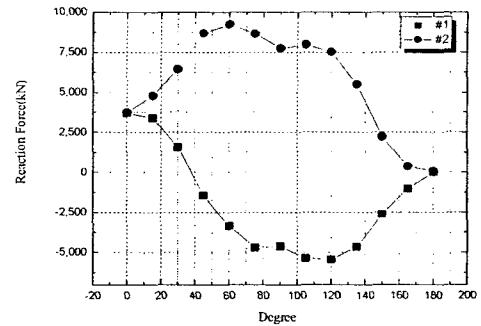


Fig. 5(a) Reaction force at #1, #2 supporting points according to the direction of wind load

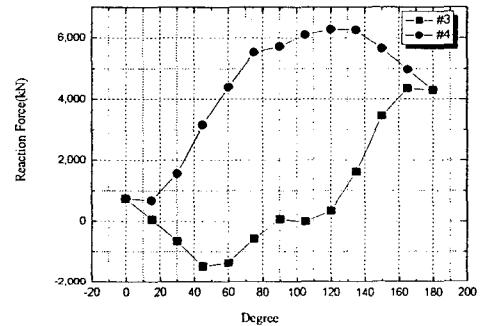


Fig. 5(b) Reaction force at #3, #4 supporting points according to the direction of wind load

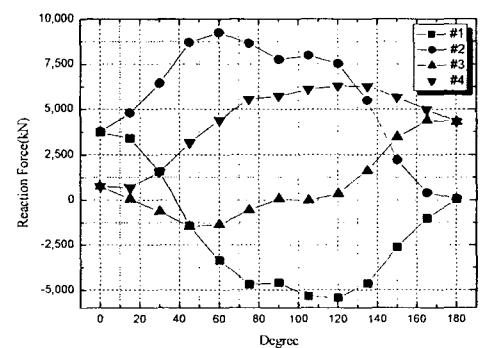


Fig. 5(c) Reaction force at each supporting points according to the direction of wind load (#1, #2, #3, #4)

해축 오른쪽 Tie-down부인 #1 지점의 방향 반력은 60 까지는 증가하다가 이후 구간에서는 감소하고

있다. 반면 해측 원쪽 Tie-down부인 #2의 Y방향 반력은 120 까지는 감소하다가 이후 구간에서는 증가하여 180°지점에서는 1, #2 지점의 값이 동일해지는 것을 확인할 수 있다. 육측 오른쪽 Tie-down부인 #3 지점의 Y반력은 135 까지는 증가하다가 이후 구간에서는 감소하며 해측 원쪽 Tie-down부인 #4지점의 Y방향 반력은 45 까지 감소하다가 다시 증가하여 180°지점에서는 3의 값과 같아지게 된다.

이는 고효율 갠트리 크레인의 형상이 Fig. 2에서와 같이 대칭 형상이기 때문에 풍향이 X(0°) 방향과 -X(180°) 방향에서 불어온다면 구조의 대칭성으로 인하여 #1, #2의 Y방향 반력값과 #3, #4의 Y방향 반력의 값이 서로 동일하게 되는 것이다.

그리고 #1 지점에서는 Y방향의 반력이 35° 180° 구간과 #2 지점에서는 Y방향의 반력이 18° 105°에서 음의 값을 가짐을 Fig. 5에서 확인 할 수 있다. 즉, #1, #2지점에서 Y축에 인장력이 작용하게 된다. 그러나 이때 #1, #2의 지지부가 이러한 인장력을 견디지 못하여 파손되면 고효율 갠트리 크레인이 전도될 수도 있다.

### 3.2 고효율 갠트리 크레인의 안정성 평가

고효율 갠트리 크레인의 형상이 X축 대하여 대칭이고, Fig. 1의 풍동실험 결과도 0° 360° 까지 주기적인 분포를 가지기 때문에 180° 360° 구간에서의 방향의 반력 변화는 0° 180° 와 같은 값을 가지게 됨을 알 수 있다. 그러나 180° 360° 구간의 경우 방향의 풍향이 반대방향으로 작용하게 되기 때문에 #1, #2지점과 #3, #4지점의 반력의 값은 서로 바뀌어져서 나타나게 된다. 그러므로 180° 360° 구간에서는 2 지점에서 인장력이 발생하며 그때의 결과는 0° 180° 구간에서의 결과와 같다.

따라서 고효율 갠트리 크레인이 ‘건축물하중 기준’에 의한 부산지방 설계기본 풍속인 0m/s(10분 평균)하에서 변화하는 풍향에 대하여 전도되지 않고 충분한 안정성을 유지하기 위해서 #1, #2 지지점의 전도 방지장치(Tie-down 등)가 풍하중에 의해 발생되는 인장력에 충분한 강도를 가져야 함을 알 수 있다.

## 4. 결론

고효율 갠트리 크레인이 계류 시에 풍향에 따라 변화하는 풍하중이 고효율 갠트리 크레인의 구조적 안정성에 어떠한 영향을 미치는지를 유한요소해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 0°~ 10° 사이의 풍하중의 angle factor가 대칭이지만, 실제 작용하는 풍하중에 의한 해측 지지단(#1, #2)과 육측 지지단(#3, #4)에서 발생되는 반력이 서로 다른 이유는 고(高) 중량체의 기계

설의 영향 때문이다.

2. 풍향이 0°~ 10° 구간에서는 1지점에서 인장력이 발생하고, 180°~ 10° 구간에서는 2지점에서 인장력이 발생한다.
3. 고효율 갠트리 크레인이 풍하중에 의해 전도되는 것을 방지하기 위해서는 해측 지지점(#1, #2)의 전도 방지장치가 풍하중에 의해 발생되는 인장력에 충분한 강도를 가져야 한다.
4. 고효율 갠트리 크레인 각 지지점(#1, #2, #3, #4)에서 Y방향 반력의 합은 자체 자중과 동일하다.

## 후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

## 참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.