

풍동실험을 이용한 관절형 컨테이너 크레인의 구조 안정성 해석

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

The Structural Stability Analysis of an Articulation Type Container Crane Using Wind Tunnel Test

S. W. Lee, J. J. Shim(Dept. of Mech. Eng., Graduate School of DAU),
G. J. Han(Dept. of Mech. Eng., DAU), T. H. Kim(Dept. of Mech. Eng., KIT)

ABSTRACT

This study was carried out to analyze the effect of wind load on the structural stability of a 50ton articulation type container crane using wind tunnel test and provide a container crane designer with data which can be used in a wind resistance design of an articulation type container crane assuming that a wind load 75m/s wind velocity is applied in an articulation type container crane. Data acquisition conditions for this experiment were established in accordance with the similarity. The scale of an articulation type container crane dimension, wind velocity and time were chosen as 1/200, 1/13.3 and 1/15. And this experiment was implemented in an Eiffel type atmospheric boundary layer wind tunnel with 11.52m² cross-section area. Each directional drag and overturning moment coefficients were investigated and uplift forces at each supporting point due to the wind load were analyzed.

Key Words : Articulation type container crane(관절형 컨테이너 크레인), Wind tunnel test(풍동실험),
Wind load(풍하중), Uplift force(전도력), Structural stability(구조 안정성)

1. 서론

산업과 경제의 발달로 그 수요가 급속도로 증대되고 있는 항만물류를 처리하기 위한 여러 가지 항만하역장비에서 가장 핵심은 컨테이너를 선박에 양·적하하는 장비인 컨테이너 크레인이라 할 수 있다.

이러한 컨테이너 크레인은 자체 높이가 50ton급 컨테이너 크레인의 경우 계류 시(붐(Boom)을 올렸을 경우) 최대 100m에 달하게 되므로 항만 주변에 인접한 공항이 있거나 기타 요인으로 인하여 고도제한이 설정되어 있는 지역에 설치될 경우 일반적인 형상의 붐을 사용할 수 없다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 Fig. 1과 같이 붐을 관절형(Articulation type)으로 하거나 붐과 거더(Girder)의 전후 이동이 가능할 수 있도록 컨테이너 크레인의 구조를 변경하여 사용하고 있다.

하지만 이와 같이 컨테이너 크레인의 붐 형상을 변화하더라도 대부분의 컨테이너 크레인 제작사에서

는 설계 시 별도의 풍동실험 없이 일반적인 일자형 붐을 가진 컨테이너 크레인의 풍동실험 결과를 활용하고 있으므로 실제 풍하중에 의한 영향을 정확하게 반영하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 순간최대 75m/s의 풍하중이 관절형 붐을 가진 컨테이너 크레인에 작용할 때, 풍하중이 관절형 컨테이너 크레인의 구조 안정성에 미치는 영향을 풍동실험을 통하여 분석함으로써 관절형 붐을 가진 50ton급 컨테이너 크레인의 내풍설계에 필요한 자료를 제시하고자 한다.

2. 풍동실험

2.1 설계풍속 및 기류특성

본 연구는 순간최대 75m/s의 바람이 관절형 컨테이너 크레인에 작용할 때를 가정하여 풍동실험을 수행하였다. 평균풍속의 수직분포는 '도로교설계기준'을 따랐으며, 난류강도의 수직분포와 풍속스펙트럼



Fig. 1 Articulation type container cranes in Kaoshiung, Taiwan



Fig. 3 An articulation type container crane model for wind tunnel test

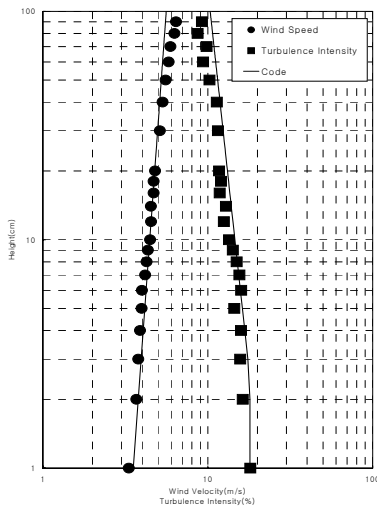


Fig. 2 Mean wind velocity and turbulence intensity according to height

은 ‘건축물하중기준’에 제시되어 있는 기준을 적용하였다.^{1,2}

컨테이너 크레인은 일반적으로 해안에 설치되므로 도로교설계기준에서 제시한 노풍도 I 과 건축물하중기준의 노풍도 D에 해당하도록 풍동 내부의 경계층을 구성하였다. Fig. 2는 풍속 및 난류강도의 수직분포를 나타내고 있다.

2.2 경계층풍동

본 연구의 목적인 관절형 컨테이너 크레인의 풍력을 측정하기 위해 사용된 풍동은 현대건설기술연구소의 대형 경계층풍동(Boundary layer wind tunnel)으로 전체 길이 53m, 축정부의 크기는 폭 4.5m, 높이 2.5m, 길이 25m의 개방형이며, 풍속범위는 0.3~17.5m/s이며, 난류강도는 0.7% 이하이다.³

2.3 실험모형

Fig. 3은 실험에 사용된 관절형 컨테이너 크레인의 모형을 나타내고 있다.

모형은 현재 국내 항만에서 널리 사용되고 있는 권상용량(Lifting capacity) 50ton, 전체 자중 890ton, 아웃리치(Out reach) 51m, 레일 스패ن(Rail span / 해측과 육측 레그(Leg)간의 거리)이 30.5m, 지상에서 붐 및 거더까지의 높이가 40m인 컨테이너 크레인에 붐이 Fig. 1과 같이 ‘ㄱ’자로 꺾어진 관절형 컨테이너 크레인을 1/200로 축소시킨 것으로 재질은 발사(Balsa)이며, 모형의 고유진동수를 높이기 위해 가볍고 강성이 큰 모형이 되도록 하였다.⁴

그리고 기계실의 위치에 따른 영향을 분석하기 위해 기계실이 거더와 붐, 레그가 만나는 위치로부터 6m(모형 30mm / Case 3), 13m(모형 65mm / Case 2), 33m(모형 165mm / Case 1) 떨어진 곳에 설치될 수 있도록 하였다.

2.4 실험방법

실험방법은 순간최대 75m/s의 설계풍속과 해안지역에 맞도록 모사된 경계층풍동 내부에 Fig. 5와 같은 관절형 컨테이너 크레인의 1/200 축소모형을 6축 로드셀 상부에 장착하였다. 그리고 기계실의 위치가 육측 레그 바깥에 위치하는 Case 1에서부터 풍향변화에 따라 변화하는 관절형 컨테이너 크레인의 각 방향 항력계수와 전도모멘트계수를 측정하였다. 이 때 실험풍향은 관절형 컨테이너 크레인이 좌우대칭 형상이므로 0°에서 180°까지 10° 간격으로 하여 19개 풍향에 대해 측정을 수행하였다.

기계실의 위치가 해측 레그 주변으로 이동되는 나머지 Case에 관하여서도 동일한 방법으로 풍력실험을 수행하여 데이터를 측정하고 이 결과를 이용하여 관절형 컨테이너 크레인에 작용되는 풍하중 및 전도모멘트, 각 레그 지지점에 작용되는 전도력을 계산하고 그 결과를 검토하였다.

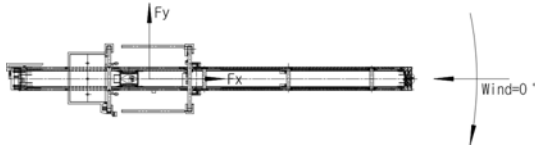


Fig. 4 Definition of an incidence angle of wind load

Fig. 4는 풍력실험을 위한 풍하중의 방향을 나타내고 있다. 그리고 실험에 적용된 데이터 수집조건은 다음과 같다.

- Model scale : 1/200
- Wind velocity scale : 1/13.3
 - Design wind velocity : 75m/s(at 64m height)
 - Wind tunnel test velocity : 5.6m/s(at 32cm height)
- Time scale : 1/15
 - Actual time : 600sec
 - Wind tunnel test time : 40sec

3. 해석결과 및 고찰

3.1 평균풍력계수

50ton급 관절형 컨테이너 크레인의 풍력실험을 통해 측정된 결과를 토대로 각 방향의 항력계수와 전도모멘트계수를 식(1)~(4)를 이용하여 산출하였다.

이 때, $B(20.26m)$ 와 $D(31.7m)$ 는 관절형 컨테이너 크레인의 대표길이이며, H 는 기준높이(64m), q_H 는 기준속도압을 나타낸다.

$$C_{Fx} = \overline{Fx} / (q_H BH) \quad (1)$$

$$C_{Fy} = \overline{Fy} / (q_H DH) \quad (2)$$

$$C_{Mx} = \overline{Mx} / (q_H DH^2) \quad (3)$$

$$C_{My} = \overline{My} / (q_H BH^2) \quad (4)$$

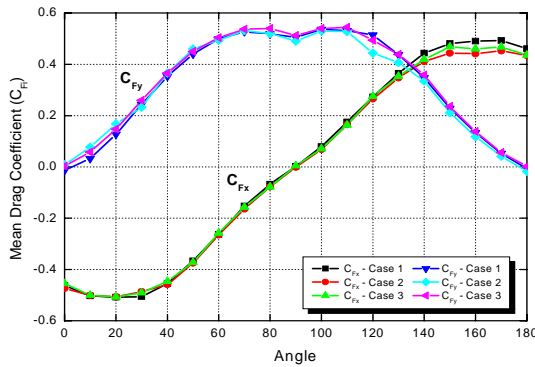


Fig. 5 Mean drag coefficient according to an incidence angle of wind load

Fig. 5와 6은 풍력실험을 통해 각도에 따라 얻어진 항력계수와 전도모멘트계수를 나타내었다.

풍하중이 관절형 컨테이너 크레인의 정면과 후면 부근에서 작용될 경우 X방향의 항력계수가 크고 Y방향의 항력계수는 거의 발생되지 않았다. 그러나 풍하중이 관절형 컨테이너 크레인의 측면으로 작용되면 이와는 반대의 결과가 측정되었다.

X방향 항력계수의 경우, 바람이 관절형 컨테이너 크레인의 정면으로 입사되는 0°보다 10~30° 부근에서 각 case별로 9.8%, 7.0%, 11.5% 가량 더 크게 발생되었다. Y방향 항력계수의 경우, 최대 항력계수는 바람이 관절형 컨테이너 크레인의 측면에서 10~20° 가량 경사지게 작용되는 70~80°와 100~110°에서 발생되었으며, 입사각이 90°인 경우보다 최대값은 각 case별로 6.1%, 8.3%, 5.3% 가량 더 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 Case별 X와 Y방향 항력계수의 분포는 모든 각도에서 거의 동일하게 측정되었다.

각 방향의 전도성향을 나타내는 전도모멘트계수를 살펴보면 X방향 전도모멘트계수 최대값은 바람의 입사각이 90~110°일 때 case별로 최대값이 0.2401, 0.2311, 0.2347이었으나 Y방향의 전도모멘트계수 최대값은 입사각 20°에서 X방향보다 1.5배 가량 큰 0.3828, 0.3508, 0.3915였다.

그리고 기계실 위치 변화에 따른 영향은 항력계수와 마찬가지로 모든 각도에서 거의 유사한 분포를 보이고 있으나 Y방향 전도모멘트계수의 경우 일부 구간에서 다소 큰 편차를 가지는 결과가 발생되었다. 이는 풍동실험 시 계측과정에서 발생한 오차로 판단된다.

풍향에 따른 항력계수와 전도모멘트계수를 비교하면 거의 유사한 분포를 가지는 것을 확인할 수 있으며, 각 계수의 최대값은 모두 풍하중이 관절형 컨테이너 크레인의 X나 Y방향 정면으로 작용할 때가

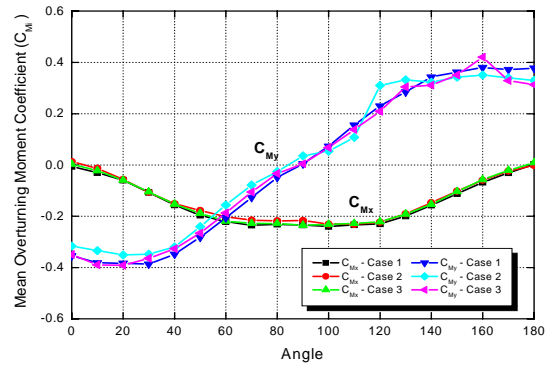


Fig. 6 Mean overturning moment coefficient according to an incidence angle of wind load

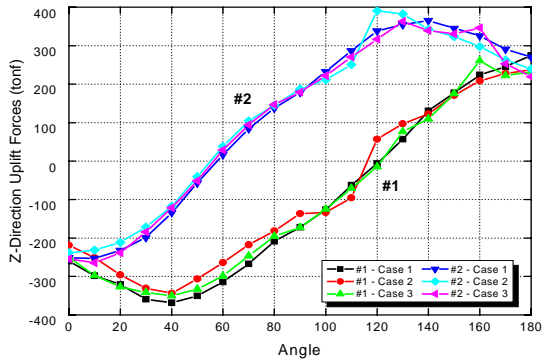


Fig. 7 Uplift forces of #1 and #2 supporting points according to an incidence angle of wind load

아니라 10~20° 경사지게 작용할 때 발생하는 것을 확인할 수 있다.

그러나 일반적으로 컨테이너 크레인의 설계 시에는 X방향(0°)과 Y방향(90°) 정면에 대한 풍하중을 산출하므로 이러한 사풍(斜風)의 효과를 고려하기 위해서는 각 방향에 대한 최대값의 비율을 보정계수로 적용할 필요가 있다.

3.2 지지점에서의 전도력

관절형 컨테이너 크레인은 좌우대칭형상이므로 Fig. 7, 8과 같이 #1과 #2, #3과 #4 지지점의 전도력이 서로 크기는 동일하나 반대 방향으로 발생하는 것을 확인할 수 있다.

그리고 풍력실험을 통해 얻어진 관절형 컨테이너 크레인의 전도력은 자중이 고려되지 않았으므로 전체 자중의 약 15% 가량을 차지하는 기계실의 위치를 변화시켜도 각 지지점에서 발생하는 전도력의 크기가 거의 동일하였다.

풍동실험 결과에 의하면 풍하중의 입사각이 20~40°이거나 130~150°이면 풍하중이 작용하는 방향에 위치한 #2과 #4 지지점에서 370tonf 가량의 높은 전도력이 발생하였다. 하지만 실제의 경우에는 풍하중에 의해 각 지지점에서는 이러한 전도력이 발생하게 되나 자체 자중으로 인한 압축력에 의하여 이러한 전도력은 크게 줄어들게 될 것이다.

그러므로 관절형 컨테이너 크레인 지지점에서 발생하는 전도력을 분석하기 위해서는 풍력실험을 통해 얻어진 결과에 자체 중량에 의한 압축력을 정확하게 분석하여야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 풍하중이 권장용량 50ton급 관절형 컨테이너 크레인의 안정성에 미치는 영향을 풍력

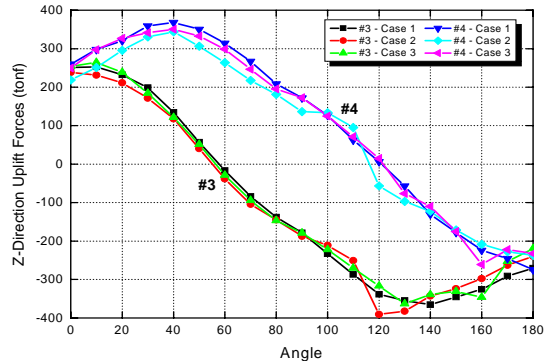


Fig. 8 Uplift forces of #3 and #4 supporting points according to an incidence angle of wind load

실험을 통하여 분석함으로써 관절형 컨테이너 크레인의 내풍설계 시 필요한 자료인 풍향에 따른 각 방향의 항력계수와 전도모멘트계수를 제시하였다. 그리고 풍하중 작용 시 관절형 컨테이너 크레인의 각 지지점에서 발생하는 인장력을 검토함으로써 국내 컨테이너 크레인 제작업체에서 동일한 모델 설계 시 이를 적용할 수 있도록 하였다.

향후 본 연구에서 제시된 풍향에 따른 풍력계수를 이용하여 각 Case별 관절형 컨테이너 크레인에 대한 유한요소해석을 실시하고 그 결과를 풍동실험과 비교하게 되면 전도력을 보다 정확하게 계산하게 됨으로써 관절형 컨테이너 크레인의 전도방지장치 설계를 보다 정확하게 할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Ministry of Construction & Transportation of the Korean Government, "Design Criteria of a Road Bridge," 2000.
2. Ministry of Construction & Transportation of the Korean Government, "Load Criteria of Building Structures," 2000.
3. Jang, H. S., Kim, Y. S. and Hwang, K. S., "Introduction of Wind Tunnel Laboratory in Hyundai Institute of Construction Technology," J. of WEIK, Vol. 1, No. 1, pp. 58-65, 1997.
4. Hanjin Heavy Industries & Construction Co. Ltd., "Structural & Mechanical Calculation for 50ton Container Crane for Pusan Port," 2000.