

전산유동해석을 이용한 붐 형상 변화에 따른 컨테이너 크레인의 풍하중 분석

*권순규¹, 이성욱², 한동섭³, 한근조⁴

^{1,2}동아대학교 대학원 기계공학부, ^{3,4}동아대학교 기계공학부

Wind Load Analysis of a Container Crane using the Computation Fluid Dynamics according to the change of the Boom Shape

*S. K.Kwon¹, S.W.Lee², D.S.Han³, G.J.Han⁴

^{1,2} Dept. of Mech. Eng., Graduate School of Dong-A Univ., ^{3,4} Dept. of Mech. Eng., Dong-A Univ.,

Key words : Container Crane, Wind Load, Computation Fluid Dynamics, Wind Tunnel Test

1. 서론

컨테이너 크레인은 컨테이너를 선박에 양적하하는 장비이며, 자중이 850ton, 계류 시(붐(Boom)을 올렸을 경우) 최대 100m에 달하는 거대 구조물로서 차폐물이 거의 없는 항만에 설치되어 사용되어 진다.¹ 특히, 2003년 태풍 ‘매미’ 내습 시에는 부산항의 신감만 및 자성대 부두에서 초속 50m에 이르는 강풍에 의해 총 11기의 컨테이너 크레인이 파손되어 부산항의 기능을 마비시켰다. 그러므로 풍하중은 컨테이너 크레인의 설계 시 중요한 하중 조건으로 고려되어야 한다. 현재 적용되고 있는 설계 풍속은 태풍 ‘매미’에 붙었던 풍속 60m/s에 적합하지 않으므로 설계변경이 요구된다.

본 연구에서는 순간 최대 75m/s의 풍속이 컨테이너 크레인에 작용할 때를 가정하였으며, 적용되는 풍속 수직분포는 ‘도로교설계기준’을 적용하였다. 또한 바람의 유동장을 모델링하여 실제 항만에서 컨테이너 크레인이 받는 풍하중을 분석하였으며, 향후 본 연구에서 얻어진 결과를 바탕으로 유동-구조 연성 해석을 수행함으로써 컨테이너 크레인의 구조 안정성을 분석할 예정이다.

2. 전산유동해석

본 연구에서 적용될 모델은 현재 항만에서 가장 많이 사용되고 있는 50ton급 컨테이너 크레인으로서 전산유동해석을 위해 Autodesk Inventor 9.0을 이용해 모델링을 수행하였으며, 전산유동해석은 CFX 10.0을 활용하였습니다.

또한 본 연구에서는 75m/s의 풍속이 작용할 때 고도에 따른 바람의 유동장을 모델링하였으며 유동장의 풍속 기준은 도로교설계기준에 따른다.

식(1)은 도로교 설계 기준에 의한 고도별 설계 풍속을 나타내고 있다.²

$$V_d = 1.925 \left(\frac{z}{500} \right)^{0.12} \times 50 \quad (1)$$

유동장은 직경 500m, 높이 200m로 원통 형상으로 구성하였으며, 유동장 및 컨테이너 크레인의 표면에 258만개의 요소를 생성함으로써 정확한 결과를 얻도록 하였다.

본 연구에서는 풍향에 따른 영향을 분석하기 위해서 0° ~ 180°를 30° 간격으로 수행하였으며, 그 결과의 정확도를 향상시키기 위해서 원통형에 대한 백터로서 입사각을 설정하였으며, 입사각이 변함에 따라 격자생성 작업을 반복하지 않고, case별로 동일한 요소수를 가지고 산출하기 때문에 정확도를 향상시켰다.

3. 해석 결과

Fig. 1 ~ Fig. 4는 풍향에 따른 50톤급 컨테이너 크레인의 전산유동해석 및 풍력실험에 대한 결과 값을 나타내고 있다.

풍향에 따른 풍하중의 경향은 풍력 실험 결과와 전산유동해석 결과가 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. X방향의 풍하중은 정면인 0°에서 발생하지 않고, 150°에서 최대 풍하중이 발생한다.²⁶³

여기서 (-)의 값은 좌표계에 의한 풍향을 나타내고 있다. X방향과 반대로 Y방향의 최대 풍하중은 정면인 90°에서 경사진 방향인 60°에서 최대 풍하중이 발생하는 것으로 판단된다.

전산유동해석을 이용하여 일자형과 관절형 컨테이너 크레인에서 발생하는 풍하중을 비교하면, FX(X방향 풍하중)에 대해서 일자형의 최대 풍하중은 150°에서 290ton이 발생하며, 관절형은 150°에서 226ton이 발생하는 것을 알 수 있으며 그 차이는 64ton이다. 반면 최대 풍하중 차이는 150°에서 64ton이 발생하는 것을 알 수 있다. 반면 FY(Y방향 풍하중)의 경우는 최대 풍하중이 60°에서 최대 풍하중이 발생하며, 일자형과 관절형 컨테이너 크레인의 최대 풍하중은 각각 299ton, 268ton이며, 36ton의 차이가 발생한다. FX의 풍하중의 차이가 크게 발생하는 것은 X방향에서 붐이 꺾이면서 X방향의 수평 면적이 줄어들기 때문인 것으로 판단되며, FY의 방향에서 풍하중이 작게 발생하는 것은 수평면적은 비슷하지만, 붐이 꺾이면서 고도에 따라 상대적으로 작은 풍하중이 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

풍력 실험 결과에서는 FX의 최대 풍하중은 일자형과 관절형 컨테이너 크레인의 경우 각각 150°에서 281ton, 230ton이 발생하는 것을 알 수 있으며, 51ton의 결과 값의 차이가 있었다. 또한 FY의 경우에는 60°에서 일자형과 관절형 컨테이너 크레인의 최대 풍하중이 발생하며, 그 결과는 각각 384ton과 367ton으로 17ton의 풍하중 차이가 발생하는 것을 알 수 있다.

반면 최대 풍하중에 대한 풍력 실험 결과와 전산유동해석 결과를 비교하면, 일자형 컨테이너 크레인은 FX는 최대 풍하중이 발생하는 150°에서는 9ton으로 차이가 작지만, 0°(X 방향)와 180°(X 방향)에서 각각 31ton, 34ton으로 발생하였다. FY는 90°에서 최대 112ton이 발생하며, FX에 비해 상대적으로 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 관절형 컨테이너 크레인의 경우는 FX에서는 일자형 컨테이너 크레인 과 동일하게 150°에서는 4ton이지만, 0°와 180°에서 28ton으로 차이가 났다. FY도 일자형과 동일하게 90°에서 108ton으로 큰 차이가 발생하였다.

풍력 실험 결과와 전산유동해석 결과에서 Y방향에서 차이가 크게 발생하는 것은 실험 모델과 전산유동해석 모델 형상의 차이인 것으로 판단된다. 전산유동해석 모델은 난간 등의 미세한 부분은 격자 생성 등을 위해 간략화한 반면, Y방향을 정면으로 하는 Truck부를 모델링하였지만, 실제 풍력 실험 모델에서는 반대로 미세한 부분까지 구현하였지만, truck부는 생략하였다.

Table 1은 풍향이 90°에서 차폐효과에 따른 영향을 나타낸 것이다. 차폐효과는 동일 형상의 두 개의 부재가 유동방향으로 나란하게 놓여 있을 경우 앞쪽 부재의 영향으로 뒤쪽 부재는 비록 형상은 동일하지만, 앞쪽 부재보다 낮은 풍하중이 발생하는 것을 의미한다. 컨테이너 크레인은 Portal beam, Girder, Boom에서

Table. 1 The Wind loads of each part by shield effect

단위:kN

구 분	Portal Beam	Girder	Boom
전 면	140	420	386
후 면	92	41	110

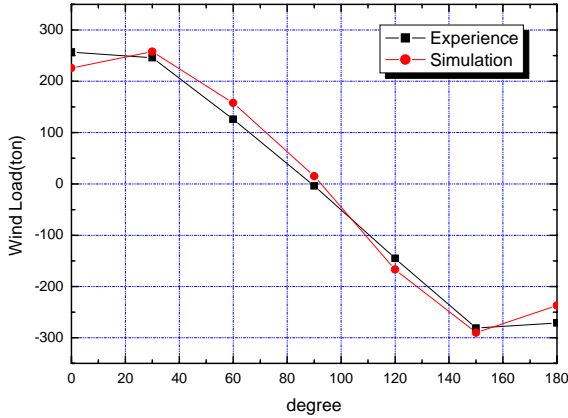


Fig. 1 X-directional wind load of an articulation type container crane according to an incident angle

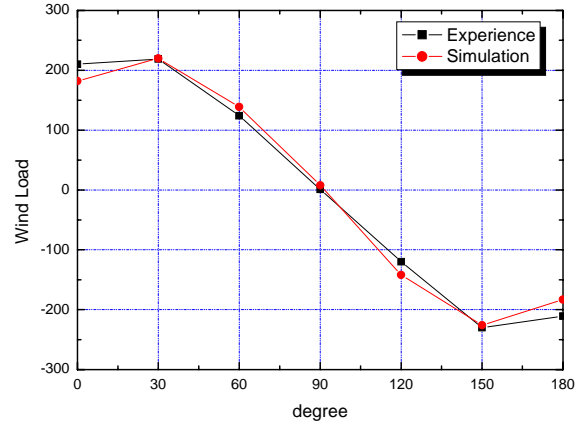


Fig. 3 X-directional wind load of a container crane according to an incident angle

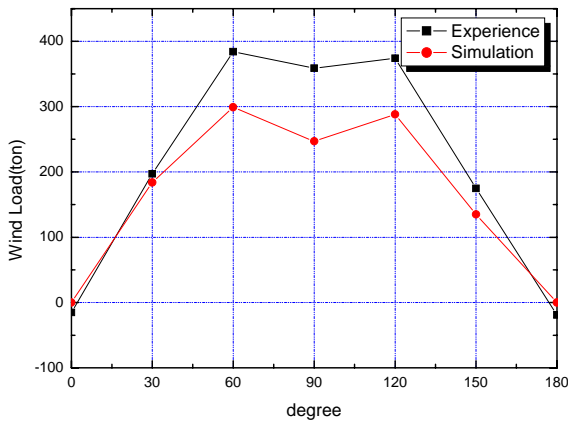


Fig. 2 Y-directional wind load of an articulation type container crane according to an incident angle

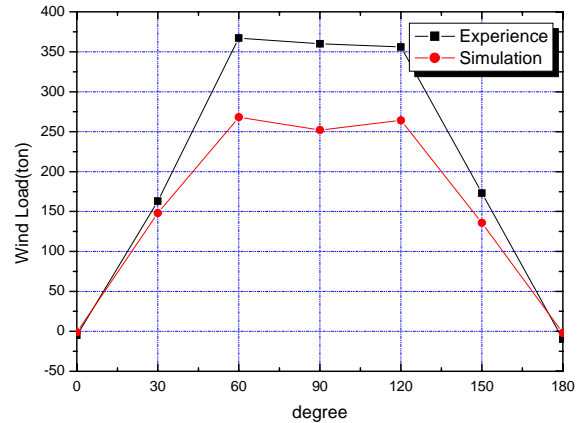


Fig. 4 Y-directional wind load of a container crane according to an incident angle

큰 차폐효과가 발생한다.

Girder에서 최대 차폐효과가 발생하는 것은 두 부재 사이의 간격이 상대적으로 작으며, 기계실에 의해 후면부의 수평면적이 상대적으로 작아졌기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 전산유동해석을 이용하여 일자형 컨테이너 크레인과 고도 제한에 따른 관절형 컨테이너 크레인의 풍하중을 분석하였으며, 신뢰성 향상을 위해 동일 모델에 대한 풍력 실험결과와 비교하였다.

그리고 본 연구에서는 기존 컨테이너 크레인의 구조 안정성 분석을 위해 유한요소법을 사용하여 각 절점에 하중을 입력하는 방식을 적용하였지만, 절점력의 작용만으로 바람의 기류 특성을 정확하게 반영하기에는 한계가 있었다. 이런 단점을 보완하기 위해서 바람의 유동장을 해석하고, 바람의 기류 특성을 반영하여 컨테이너 크레인의 풍하중을 정확하게 산출할 수 있었다.

향후, 본 연구에서 얻어진 풍향에 따른 풍압력을 바탕으로 풍하중의 주요 원인 중 하나인 풍향계수를 산출할 수 있을 것으로 판단되어진다. 또한, 풍압력을 구조 해석 분야에 접목함으로써 컨테이너 크레인의 구조 안정성 평가에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Ministry of Construction & Transportation of the Korean Government, "Design Criteria of a Road Bridge," 2000.
2. Hanjin Heavy Industries & Construction Co. Ltd., "Structural & Mechanical Calculation for 50ton Container Crane for Busan Port," 2000.