

권상용량 증가에 따른 컨테이너 크레인의 내풍특성 비교

이성욱[†] · 김형훈* · 한동섭** · 한근조** · 김태형***

A Comparison of the Wind Resistance Characteristic of a Container Crane According to the Increase fo the Lifting Capacity

Seong-Wook Lee, Hyung-Hoon Kim, Dong-Seop Han,
Geun-Jo Han, Tae-Hyung Kim

Key Words: Container Crane(컨테이너 크레인), Wind Tunnel Test(풍동실험),
Wind Load(풍하중), Wind Load Coefficient(풍력계수)

Abstract

This study was carried out to analyze the effect of wind load on the structural stability of a container crane according to the increase of the lifting capacity using wind tunnel test and provided a container crane designer with data which can be used in a wind resistance design of a container crane assuming that a wind load at 75m/s wind velocity is applied on a container crane. Data acquisition conditions for this experiment were established in accordance with the similarity. The scale of a 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.

1. 서 론

경제의 세계화에 따라 전 세계 컨테이너 물동량은 연평균 7% 내외의 높은 신장세가 지속되고 있으며, 이에 따라 컨테이너선박의 투입이 증가되고 있다. 그러나 1984년 미국 신해운법 발효 이후 세계 정기선 해운의 경쟁심화로 인한 저운임 환경에서도 경쟁력을 갖추기 위해 컨테이너 단위당 운송비가 저렴한 컨테이너선의 대형화가 크게 진전되어 2006년에는 M사에서 선체길이 397m, 폭 56m에 달하는 11,000TEU급 초대형 컨테이너 선박을 건조하였으며 향후 수년 이내에

수송능력이 15,000TEU에 달하는 초대형 컨테이너 선박도 취항할 것으로 전망되고 있다.

컨테이너 선박이 이와 같이 초대형화됨에 따라 해상물류와 항만에도 큰 영향을 미치게 되어 초대형 컨테이너선의 기항 항만 수는 적어지는 대신 한 항만에서 이루어지는 양·적하 컨테이너 화물 수는 증가하게 되었다. 즉, 초대형 컨테이너선이 기항하는 항만은 물류중심항만(Hub Port)이 되고, 인근의 타 항만은 피더항(Feeder Port)으로 구분되면서 항만의 기능 및 기존 처리물동량 서열이 바뀌게 될 것으로 예상되고 있다.

따라서 각 나라의 주요 항만은 물류중심항만이 되기 위한 항만 시설이나 장비, 하역시스템에 관한 준비가 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 국내의 경우 2006년 개장한 부산 신항만에서는 초대형 컨테이너선박의 접안을 대비하여 기존의 권상용량(Lifting Capacity) 50ton급 컨테이너 크레인 대신 권상용량 65ton, 아웃리치(Out-Reach)가 65m

† 회원, 동아대 대학원 기계공학과

E-mail : lsw1126@korea.com

TEL : (051)200-6989 FAX : (051)200-7656

* 동아대 대학원 기계공학과

** 동아대 기계공학과

*** 경남정보대 기계자동차산업계열

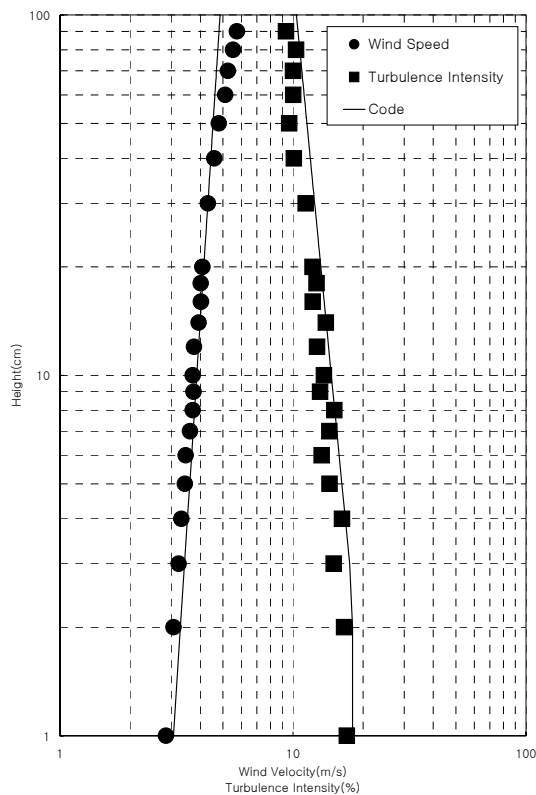


Fig. 1 Mean wind velocity and turbulence intensity according to height

에 달하는 초대형 컨테이너 크레인 26기를 설치하였다.

그러나 이러한 초대형 컨테이너 크레인은 설치되는 장소가 차폐물이 거의 없는 항만이며, 자체 높이가 계류 시(붐(Boom)을 올렸을 경우) 최대 120m에 달하게 되므로 바람에 매우 큰 영향을 받게 된다. 특히 2003년 태풍 ‘매미’ 내습 시에는 부산항의 신감만 및 자성대부두에서 강풍에 의하여 총 11기의 컨테이너 크레인이 파손되어 부산항의 기능이 일부 마비됨으로써 막대한 물류 손실이 발생하기도 하였다.

그러므로 풍하중은 컨테이너 크레인의 설계 시 적용되는 각종 하중조건에서 가장 중요하게 고려되는 하중조건 중의 하나이다. 이러한 컨테이너 크레인에 작용되는 풍하중을 정확하게 산출하기 위해서는 풍동실험과 기본 설계가 모두 이루어져야 하나, 현재 국내 컨테이너 크레인 제작업체는 일반적으로 컨테이너 크레인에 작용되는 풍하중 계산 시 ‘BS2573’ 기준에 의거하여 기본 설계를

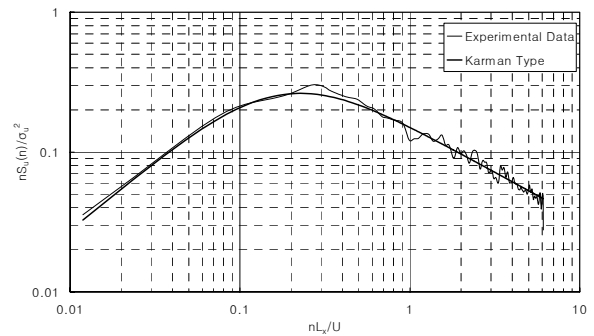


Fig. 2 Wind velocity spectrum at 32cm height in the wind tunnel

하고 국외의 컨테이너 크레인 설계 자문기관에서 유사한 모델로 실시한 풍동실험 자료를 활용하고 있다. 그러나 국외 자문기관의 풍동실험 자료는 국내에서 생산되는 컨테이너 크레인의 모델과는 차이가 있으므로 결과의 신뢰성이 떨어지게 된다.

따라서 본 연구에서는 초대형 컨테이너 선박에 적합한 구조와 권상용량을 갖는 국내 초대형 컨테이너 크레인에 대한 풍력실험을 통하여 컨테이너 크레인의 내풍설계 시 필요한 자료를 확보하고 이 결과를 기존의 권상용량 50ton급 컨테이너 크레인과 비교·분석하고자 한다.

2. 풍력실험

2.1 설계풍속 및 기류특성

본 연구는 순간최대 75m/s의 바람이 컨테이너 크레인에 작용할 때를 가정하여 풍동실험을 수행하였다. 평균풍속 및 난류강도의 수직분포와 풍속스펙트럼은 ‘건축물하중기준’에 제시되어 있는 기준을 적용하였다(건설교통부, 2000).

컨테이너 크레인은 일반적으로 해안에 설치되므로 도로교설계기준에서 제시한 노풍도 I 과 건축물하중기준의 노풍도 D에 해당하도록 풍동 내부의 경계층을 구성하였다.

Fig. 1은 풍속 및 난류강도의 수직분포를 나타내며, Fig. 2는 레일에서 64m(모형의 경우 32cm 높이)에서의 풍속스펙트럼을 나타내고 있다.

2.2 실험장치 및 측정장치

컨테이너 크레인의 풍력측정에 사용된 풍동은

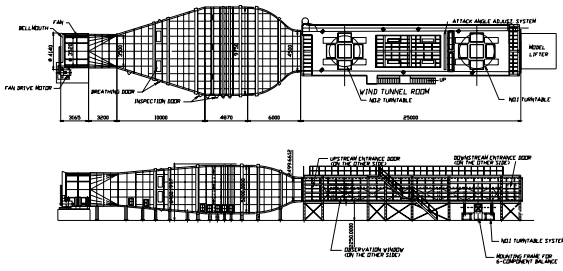


Fig. 3 Boundary layer wind tunnel



Fig. 4 The container crane model for wind tunnel test

현대건설기술연구소의 대형 경계층풍동(Boundary layer wind tunnel)으로 전체 길이 53m, 측정부의 크기는 폭 4.5m, 높이 2.5m, 길이 25m의 개방형(Eiffel type)이며, 풍속범위는 0.3~17.5m/s이며, 난류강도는 0.7% 이하이다. Fig. 3은 실험에 사용된 풍동을 나타내고 있다.

실험에 사용된 측정장치는 다음과 같다.

- 6-component load cell : LMC-6524-10S(NEW)
- Hot wire anemometer : Model 1008(KANOMAX)
- Digital micro manometer : DP-20A(Okano)
- Dynamic strain amplifier : DSA-100(NEW)
- Low pass filter : 9B02(NEC)
- Digital barometer : BN60705(S.I.)
- ADC : AT-MIO-16XE-50(N.I.)

2.3 실험모형

Fig. 4는 실험에 사용된 컨테이너 크레인의 모형을 나타내고 있다. 모형은 초대형 컨테이너 선박 접안 시 컨테이너의 양·하역 작업이 가능하

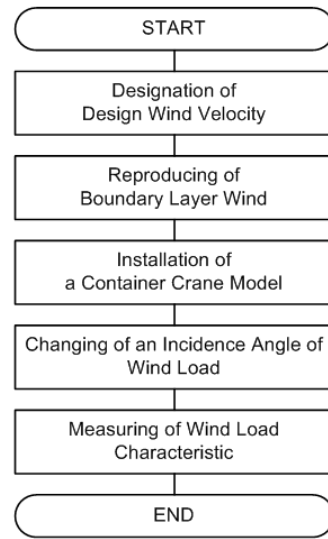


Fig. 5 Flow chart of the wind tunnel test of a container crane

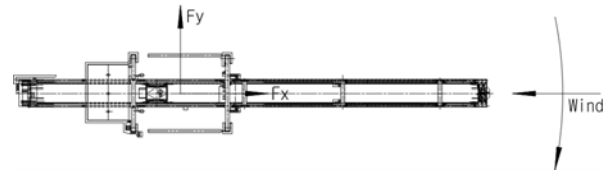


Fig. 6 Definition of an incidence angle of wind load

도록 국내 컨테이너 크레인 제작업체에서 제작한 권상용량 61ton, 전체 자중 1,260ton, 아웃리치 63m, 레일 스패(Rail span / 해측과 육측 레그(leg) 간의 거리)이 30.5m, 지상에서 붐(Boom) 및 거더(Girder)까지의 높이가 49m, 계류 시 지상에서 붐 끝단까지의 높이가 120m에 달하는 컨테이너 크레인을 1/200로 축소시킨 것으로 재질은 발사(balsa)이며, 모형의 고유진동수를 높이기 위해 가볍고 강성이 큰 모형이 되도록 하였다.

2.4 실험방법

실험방법은 순간최대 75m/s의 설계풍속과 해안 지역에 맞도록 모사된 경계층 풍동 내부에 Fig. 4와 같은 컨테이너 크레인의 1/200 축소모형을 6축 로드셀 상부에 장착하였다.

그리고 풍동을 통하여 실험 풍하중을 작용시켜 풍향변화에 따라 변화하는 컨테이너 크레인의 각

방향 항력계수와 전도모멘트계수를 측정하였다. 이 때 실험풍향은 컨테이너 크레인이 좌우대칭 형상이므로 0°에서 180°까지 10°간격으로 하여 19개 풍향에 대해 측정을 수행하였다.

Fig. 5는 컨테이너 크레인 풍력실험의 순서도이며, Fig. 6은 컨테이너 크레인에 작용되는 풍하중의 방향을 나타내고 있다.

데이터 측정조건은 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
- Scaling frequency : 120Hz
- Number of measurement : 10times
- Total number of data : 120Hz × 40sec × 10times
= 48,000EA/ch

3. 해석결과 및 고찰

61ton급 초대형 컨테이너 크레인의 풍력실험을 통해 측정된 결과를 토대로 각 방향의 항력계수와 전도모멘트계수를 식(1)~(4)를 이용하여 산출하였다. 이 때, B 와 D 는 Fig. 7에 나타낸 컨테이너 크레인의 대표길이이며, H 는 기준높이(64m), q_H 는 기준 속도압을 나타낸다.

$$C_{Fx} = \overline{F_x} / (q_H B H) \quad (1)$$

$$C_{Fy} = \overline{F_y} / (q_H D H) \quad (2)$$

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

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

Fig. 8과 9는 풍력실험을 통해 각도에 따라 얻어진 권상용량 61ton급 초대형 컨테이너 크레인의 X방향과 Y방향 항력계수와 현재 항만에서 주로 사용되고 있는 권상용량 50ton급 컨테이너 크레인에 대한 풍력실험 결과를 비교하여 나타내고 있다.

항력계수의 경우 풍하중이 컨테이너 크레인의 정면(0°)과 후면(180°)부근에서 작용될 경우 X방향의 항력계수가 크고 Y방향의 항력계수는 거의

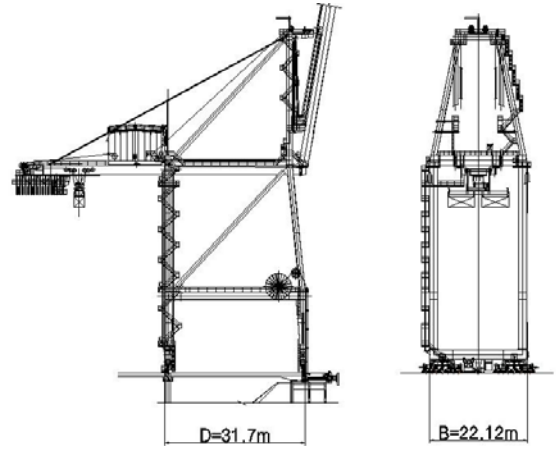


Fig. 7 Representational length of a container crane

발생되지 않았으나, 컨테이너 크레인의 측면(180°)부근에서 풍하중이 작용되면 이와 반대의 결과가 측정되었다.

권상용량 61ton급 초대형 컨테이너 크레인의 경우 X방향 항력계수는 풍하중이 컨테이너 크레인의 정면으로 입사되는 0°보다 20° 가량 경사지게 작용하는 경우 6.0% 더 크게 발생되었다.

그리고 50ton급 컨테이너 크레인과 비교할 경우 61ton급 초대형 컨테이너 크레인이 모든 풍향에서 50ton급보다 X방향 항력계수가 크게 측정되었으며, 최대 X방향 항력계수를 비교하면 61ton급이 50ton급보다 17.3% 더 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 61ton급의 경우 최대 높이가 120m에 달하게 되므로 50ton급에 비해 수평면적이 증가하기 때문으로 판단된다.

Y방향 항력계수의 경우 61ton급 초대형 컨테이너 크레인의 최대 항력계수는 110°에서 발생되었으며, 입사각이 90°인 경우보다 110°에서 11.4% 더 크게 발생되었다.

그리고 50ton급과 비교할 경우 X방향 항력계수와 같이 모든 각도에서 61ton급 크레인에 측정된 Y방향 항력계수가 더 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 최대 Y방향 항력계수의 경우 61ton급이 50ton급보다 34.4% 가량 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10과 11은 풍력실험을 통해 얻어진 권상용량 61ton급 초대형 컨테이너 크레인의 X방향과 Y방향 전도 모멘트계수와 권상용량 50ton급 컨테이너 크레인에 대한 풍력실험 결과를 비교하여 나타내고 있다.

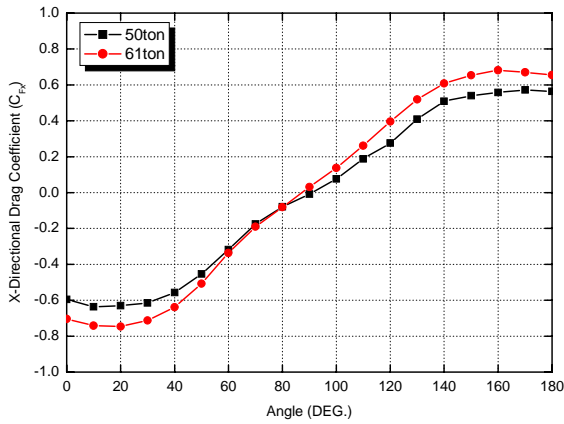


Fig. 8 X-directional drag coefficient according to an incidence angle of wind load

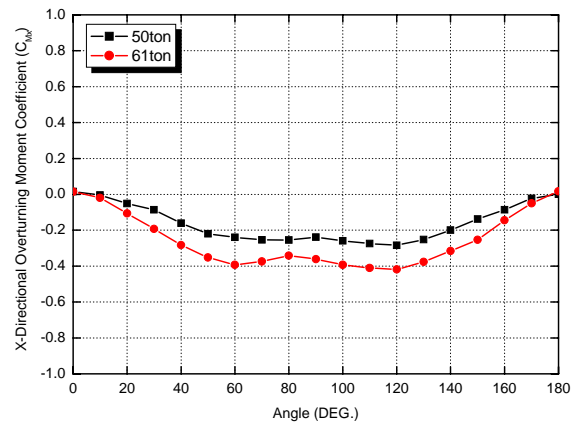


Fig. 10 X-directional overturning moment coefficient according to an incidence angle of wind load

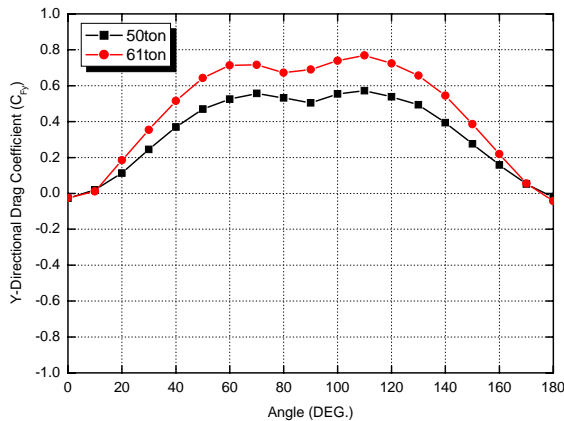


Fig. 9 Y-directional drag coefficient according to an incidence angle of wind load

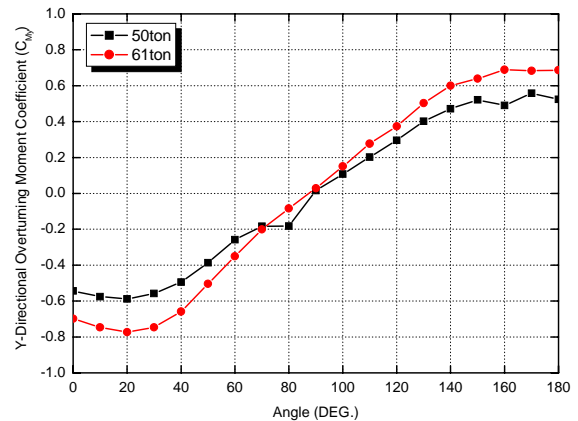


Fig. 11 Y-directional overturning moment coefficient according to an incidence angle of wind load

각 방향의 전도성향을 나타내는 전도모멘트의 경우 61ton급 초대형 컨테이너 크레인의 X방향의 전도모멘트 계수는 풍하중의 입사각이 120°일 때 최대값이 발생되었으며, 풍하중이 레일방향으로 작용되는 90°에서 발생하는 값에 비해 15.5% 가량 더 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

그리고 권상용량에 따라 비교하면 61ton급이 50ton급에 비하여 47.0% 가량 X방향 최대 전도모멘트계수값이 증가되었다.

X방향으로 작용되는 풍하중에 의해 전도되려는 성향을 나타내는 61ton급 초대형 컨테이너 크레인의 Y방향 전도모멘트계수는 입사각 20°에서 최대값이 발생되었으며, 풍하중이 해측에서 육측

으로 작용하는 0°에 비해 10.9% 가량 더 크게 발생되었다.

그리고 61ton급의 경우 50ton급 보다 최대 Y방향 전도모멘트계수가 31.4% 더 증가하게 되는 것을 확인할 수 있었다.

풍향에 따른 항력계수와 전도모멘트계수를 비교하면 거의 유사한 분포를 가지는 것을 확인할 수 있으며, 이는 권상용량이 증가하더라도 형상적 특징이 유사하므로 전체적인 계수는 상승하더라도 분포는 동일한 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 통하여 컨테이너 크레인에서는 풍하중을 고려한 설계 시 해측에서 육측으로 풍

Table 1 Wind load coefficients according to the lifting capacity

Crane		0°	90°	180°	Max.
50ton	C _{Fx}	-0.5951	-0.0093	0.5630	-0.6363
	C _{Fy}	-0.0272	0.5038	-0.0212	0.5720
	C _{Mx}	0.0154	-0.2379	0.0001	-0.2842
	C _{My}	-0.5433	0.0159	0.5241	-0.5886
61ton	C _{Fx}	-0.7043	0.1380	0.6545	-0.7465
	C _{Fy}	-0.0253	0.7390	-0.0424	0.7687
	C _{Mx}	0.0147	-0.3926	0.0168	-0.4178
	C _{My}	-0.6977	0.1509	0.6860	-0.7734

하중이 작용하는 X방향이나, 레일방향으로 작용하는 Y방향이 아닌 이에 10°~20° 경사지게 작용되는 사풍의 영향을 고려해야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1은 0°, 90°, 180°에서 측정된 권상용량별 각 계수와 최대 계수값을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 초대형 컨테이너 선박에 적합한 구조와 권상용량을 갖는 국내 초대형 컨테이너 크레인에 대한 풍력실험을 통하여 컨테이너 크레인의 내풍설계 시 필요한 자료인 풍향에 따른 각 방향의 항력계수와 전도모멘트계수를 측정하였으며, 각 계수의 최대값과 발생하는 풍하중 각도를 제공하였다.

또한 기존 항만에서 사용되는 권상용량 50ton 급 컨테이너 크레인과 비교할 경우 X, Y방향의 최대 항력계수 및 최대 전도모멘트계수 값이 각각 17.3%, 34.4%, 47.0%, 31.4% 증가하게 되므로 초대형 컨테이너 크레인의 내풍구조 설계 시에는 기존의 설계식보다 더욱 강화된 계수가 적용되어야 할 것으로 판단된다.

향후 본 연구에서는 이 결과값을 이용하여 각 지지점에서 발생하는 전도력을 계산하고 유한요소해석을 통하여 얻어진 결과를 풍력실험 결과와 비교·분석하게 되면 초대형 컨테이너 크레인의 풍하중에 의한 구조적 안정성을 보다 정확하게 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- (1) Kang, S. H., Lee, D. H., Cho, K. J., Chwa, S. H., Huh, J., 1988, "Experimental Studies on the Estimation of Wind-Load of a Container Crane and Its Development," *Trans. of the KSME*, Vol. 12, No. 4, pp.892-899.
- (2) Ministry of Construction & Transportation of the Korean Government, 2000, "Load Criteria of Building Structures".
- (3) Jang, H. S., Kim, Y. S. and Hwang, K. S., 1997, "Introduction of Wind Tunnel Laboratory in Hyundai Institute of Construction Technology," *J. of WEIK*, Vol. 1, No. 1, pp.58-65.
- (4) Lee, S. W., Shim, J. J., Han, D. S., Han, G. J., Lee, K. S., 2007, "An Experimental Analysis of the Effect of Wind Load on the Stability of a Container Crane," *JMST*, Vol. 21, pp.448-454.
- (5) D. Voisin, G. Grillaud, C. Sollic, A. Beley-Sayettat, J. L. Berlaud, A. Miton, 2004, "Wind Tunnel Test Method to Study Out-of-Service Tower Crane Behaviour in Storm Winds," *J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics*, Vol. 92, pp.687-697.
- (6) E. Simiu, R. H. Scanlan, 1996, "Wind Effect on Structures," *John Wiley & Sons*.