

# 풍동실험을 이용한 컨테이너 크레인 부재들에서의 풍 하중 산정

\*안태원<sup>1</sup>, 한근조<sup>2</sup>, 한동섭<sup>3</sup>, 이성욱<sup>4</sup>

<sup>1</sup>동아대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>동아대학교 기계공학과, <sup>3</sup>동아대학교 BK21 총괄사업단, <sup>4</sup>동아대학교 대학원 기계공학과

## Computation of Wind Load on the Container Crane Members Using the Wind Tunnel Test

\*T. W. An<sup>1</sup>, G. J. Han<sup>2</sup>, D. S. Han<sup>3</sup>, and S. W. Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mech. Eng., Graduate school of Dong-A Univ., <sup>2</sup>Dept. of Mech. Eng., Dong-A Univ., <sup>3</sup>Institute of Brain Korea 21, Dong-A Univ., <sup>4</sup>Dept. of Mech. Eng., Graduate school of Dong-A Univ.

Key words : Wind tunnel test, Container Crane, Wind load

### 1. 서론

급변하는 기상환경의 변화에 따라 컨테이너 크레인의 안전성에 관심이 높아지고 있다. 컨테이너 크레인의 설계 시 풍 하중은 다른 어떠한 하중조건보다 중요한 factor 로 고려되어 지기 때문에 풍 하중을 산출하기 위한 풍동 실험은 필수적이다<sup>1</sup>. 본 연구에서는 소형 아음속 풍동을 사용하여 풍향의 변화에 따른 컨테이너 크레인의 각 부재들에 작용하는 풍 압력을 측정하고 그에 따른 풍 하중을 산출하였다.

### 2. 풍동 실험

#### 2.1 Subsonic Wind Tunnel

본 연구에서는 컨테이너 크레인에 작용하는 풍 하중을 측정하기 위하여 Impeller 에 의한 Suction-Type 아음속 풍동을 사용하였다. 전체 길이 2.98m, 넓이 0.8m, 높이 1.83m 로 입력전압 조절에 의하여 풍속을 변화시키며 유효풍속은 9m/s(30V)~15m/s(50V)이다. Fig.1 은 실험에 사용되어진 아음속 풍동을 나타내고 있다.



Fig. 1 Subsonic Wind Tunnel

#### 2.2 풍속과 모델설계

실험에 사용된 컨테이너 크레인의 각 부재들은 설계풍속과 기하학적 치수, 측정시간을 아래와 같은 상사조건에 의해 정의하였다. 여기서 V 는 설계풍속, L 은 기하학적 치수, T 는 측정시간이다.

$$V_{model} = V_{full} \times (L_{model} / L_{full}) \times (T_{full} / T_{model}) \quad (1)$$

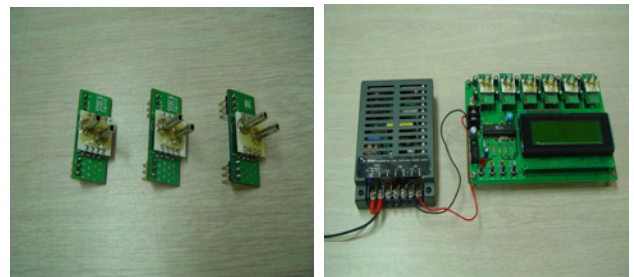
본 연구에서는 75m/s 의 풍속이 컨테이너 크레인 각 부재에 작용한다고 가정하였으며 풍향에 따라 각 부재들의 형상을 달리 하였다. 또한 풍 압력이 부재의 압력공에 연결된 튜브를 통해 반도체 압력센서에 전달되므로 이러한 사항을 고려하여 각 부재들의 축소모형을 설계, 제작하였다. 총 24 개의 컨테이너 크레인 축소부재가 제작되었으며

부재의 재료는 아크릴이다.

#### 2.3 반도체 압력센서 및 모니터링 시스템

본 연구에서는 컨테이너 크레인용 부재에 작용하는 풍 압측정을 위하여 반도체 압력센서를 사용하였으며, 그 사양이 Table 1 에 나타나 있다. 센서부 두 개의 홀(Hole)은 컨테이너 크레인 부재의 압력공과 아음속 풍동의 벽면에 각각 연결된다.

또한 반도체 압력센서의 신호를 받아들일 수 있는 모니터링 시스템이 설계되었으며 Power, Bread Board, Microprocessor, A/d converter, LCD 로 구성되어져 있다. 반도체 압력센서에서 출력되는 전압을 계측하여 Microprocessor 및 A/D 컨버터를 거쳐 LCD 에 압력이 출력되며, 동시에 6 개의 반도체 압력센서에서의 압력을 계측하여 LCD 에 출력 할 수 있도록 설계되었다. Fig. 2 는 반도체 압력센서와 풍압모니터링 시스템을 나타낸다.



(a) Pressure Sensor (b) Monitoring System

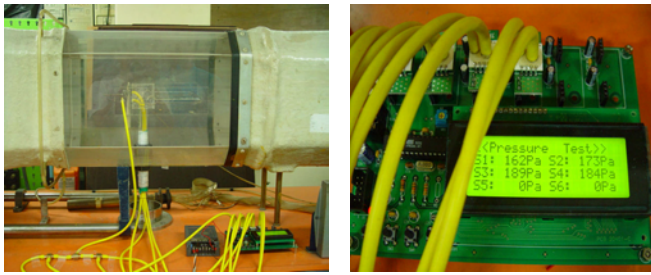
Fig. 2 Semiconductor Pressure Sensor and Wind Pressure Monitoring System

Table 1. Specifications of semiconductor pressure sensor

Function	Semiconductor Pressure Sensor		
Available Pressure	max. 500Pa		
Output Form	Voltage Output		
Performance	Nom.	Min.	Max.
Input Voltage	DC 5V	DC 4.5V	DC 5.3V
Input Current	1.5mA	1.5mA	1.5mA

#### 2.4 실험과정

먼저 반도체 압력센서를 압력튜브를 이용하여 컨테이너 크레인의 축소부재와 연결한 다음 컨테이너 크레인의 축소부재를 아음속 풍동 내부에 고정시켰다. 상사법칙<sup>2</sup>에 의해 산출된 실험풍속 15m/s 를 부재에 적용시키면 반도체 압력센서는 풍동 내부의 정압과 부재표면에서의 동압을 측정하



(a) Experimental Setup (b) Monitoring System  
 Fig. 3 Experimental Setup and Wind pressure displayed at the monitoring system.

여 그 둘 사이의 차압을 계산한다. 그 차압은 풍압 모니터링 시스템에 나타나게 되어 컨테이너 크레인의 축소부재가 받는 풍 압력을 계측할 수 있다. 이와 같은 방법으로 24 개의 모델에서의 풍압을 측정하였다. Fig. 3 은 풍압실험의 전체적인 형상과 풍압모니터링 시스템에 계측된 풍 압력을 나타내고 있다.

3. 실험결과

풍 압력의 경우 부재의 형상이나 부재표면의 위치에 따라 그 차이가 크게 발생하므로 본 연구에서는 부재의 중앙부에서 풍 압력을 측정하였다. 평균 풍 압력은 10 회 반복 측정된 압력 값 중에서 최대, 최소를 제외한 나머지 결과의 평균을 하였다. 또한 측정된 평균 풍 압력을 이용하여 정압과 동압의 관계를 나타내는 풍압계수를 산출하였다. 풍압계수는 다음과 같이 정의된다.

$$C_p = \frac{P}{q_H} \quad (2)$$

여기서  $C_p$ 는 풍압계수,  $P$ 는 부재 표면에서의 평균 풍 압력,  $q_H$ 는 풍동 내부의 정압을 나타낸다. 풍동 내부풍속은 15m/s 로 풍동 내부의 정압은 137.95Pa 이다.

Table 2. Wind load at the container crane members

Member	Mean Pressure	Coefficient	Wind Load	DCRB
Apex Beam	243	1.76	69	26
Portal Beam	299	1.76	474	455
TG End Tie	183	1.33	109	91
Boom Cross	251	1.82	50	47
TGSB	250	1.81	337	307
Upper Dia-X	146	1.06	197	95
Upper Dia-Z	203	1.47	276	148
Lower Dia-X	141	1.02	159	89
Lower Dia-Z	185	1.34	209	133
Upper Leg-X	402	2.91	1,278	903
Upper Leg-Z	352	2.55	746	490
Lower Leg-X	266	1.93	488	302
Lower Leg-Z	290	2.10	943	205
Mc House-X	291	2.11	562	308
Mc House-Z	399	2.89	482	193
Apex Beam-X	362	2.62	437	242
Apex Beam-Z	392	2.84	592	352
Sill Beam	387	2.81	349	205
Trolley Girder	394	2.86	1,341	988
Boom-X	356	2.58	648	525
Boom-Z1	291	2.11	1,222	705
Boom-Z2	340	2.46		

최종적으로, 산출된 풍압계수를 Eq(3)에 적용하여 컨테이너 크레인 부재에 작용하는 풍 하중을 계산하였다. 여기서  $C_p$ 는 풍압계수,  $P$ 는 부재 표면에서의 평균 풍 압력,  $A$ 는 유효단면적이다.

$$P = C_p \times \bar{p} \times A \quad (3)$$

계산된 컨테이너 크레인 축소부재의 풍 하중은 건설교통부의 도로교 설계기준(‘Design Criteria of a Road Bridge’ of Ministry of Construction and Transportation in Korea )을 적용하여 계산된 풍 하중과 비교하고 그 결과를 Table 2 에 나타내었다.

풍압실험을 통하여 얻어진 컨테이너 크레인 축소부재의 풍 하중은 대부분 ‘도로교 설계기준’을 적용하여 계산된 풍 하중에 비해 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 풍압실험을 통해 얻어진 풍압계수가 시험과정 중 발생한 오차로 인하여 과도하게 크게 계산됨으로써 발생한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 소형 아음속 풍동을 이용하여 컨테이너 크레인 각 부재 표면에서의 압력을 반도체 압력센서와 자체 설계한 풍압모니터링 시스템을 사용하여 측정하고 이 결과를 이용하여 풍압계수 및 각 부재가 받는 풍 하중을 계산하여 풍 하중 설계기준과 비교, 분석 하였다. 그 결과 본 연구의 풍압실험을 통해 얻어진 풍압계수가 여러 가지 오차로 인하여 크게 발생됨으로써 풍 하중 설계기준보다 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 본 연구에서는 압력센서와 풍압 모니터링 시스템, 소형 풍동을 사용하여 컨테이너 크레인 각 부재에 대한 풍압실험을 수행함으로써 컨테이너 크레인의 풍압실험에 대한 접근성을 높일 수 있었으며, 향후 풍압실험에서 발생한 문제점을 검토하여 보완함으로써 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력 양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Hanjin Heavy Industries & Construction Co. Ltd, “Structural & Mechanical Calculation for 50Ton Container Crane for Pusan Port,” 2000.
2. Kim, Y. M, “Wind Tunnel Test Guide Book for Staff,” 1998, pp. 23-132.
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” *Journal of KSPE*, Vol. 22, No. 2, pp.148-155.
4. Ministry of Construction & Transportation of the Korean Government (2000) : Design Criteria of a Road Bridge.