

<論 文>

# 풍동시험에 의한 콘테이너 크레인의 풍하중 예측 및 개량에 관한 연구

강신형\* · 이동호\*\* · 조광제\*\*\* · 좌성훈\*\*\*\* · 허 중\*\*\*\*

(1988년 3월 2일 접수)

## Experimental Studies on the Estimation of Wind-Load of a Container Crane and Its Development

S. H. Kang, D. H. Lee, K. J. Cho, S. H. Choa and J. Huh

**Key Words** : Wind Load(풍하중), Wind Tunnel(풍동), Container Crane(콘테이너 크레인)

### Abstract

A container crane model was tested to investigate wind-load characteristics in uniform flows and ground boundary layers. Drag coefficients and moment coefficients show their minimum values at 0, 90, 180 degrees wind directions and maximum values at 60 and 120 degrees. Strong interactions among structure elements produce such variations of the wind-load with wind directions. The BS-2573 code is shown to over-estimate wind-loads of the crane by 20-50% in comparison with tested values. Such an over-estimation can be reflected in the design stage of cranes by refining the rule of the designer. Some roundings of coners of the engine room and the machinery room reduce the wind-load by 10 percents. Considerable reductions of the wind-load would be expected if further integrated development of the crane structure are executed.

### 1. 서 론

일반 대형 옥외구조물과 마찬가지로 콘테이너 크레인의 합리적이고 최적한 설계를 위해서는 축적된 설계자료에 의하여 기본설계를 한 후 풍동에서 풍하중 시험을 통하여 그 합리성을 검증하여야 한다. 그러나 설계시 예측한 풍하중과 실제 풍하중의 비교자료가 없이는 신빙성 있고 합리적인 설계를 기대하기가 어렵다. 이를 위해서 주로 적절한 크기로 축소된 모형을 제작하여 저속풍동에서 시험한 후

실제조건에서 풍하중을 평가하여야 한다. 그러나 실제조건과 모형실험조건은 역학적으로 완전히 상사하기는 어렵다. 그 이유는 여러가지가 있으나 Reynolds 수의 상이, 난류특성의 상이, 모형의 기하학적 상이, 풍동벽에 의한 blockage effects, 모형 취부 상태의 영향, 계측오차 등이 있다. 따라서 합리적인 평가를 위해서는 적절한 경험 및 이론적 판단에 의해 시험을 행하고 결과를 해석해야 한다.

본 연구에서는 특정한 콘테이너 크레인을 설계도면에 따라 100:1 축척의 모형을 제작하고 Reynolds 수에 의한 축척영향, 모형취부 및 계측시스템의 반복성 영향, 풍향에 따른 특성, boom의 위치에 따른 특성, 풍고도에 따른 특성, blockage 영향, 설계변경에 따른 효과에 주 관심을 두고 연구하였다. 특히 설계단계에서 관련 규격

\* 정희원, 서울대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 정희원, 서울대학교 공과대학 항공공학과

\*\*\* 정희원, 삼성중공업주식회사

\*\*\*\* 서울대학교 대학원

에 따라 예측된 풍하중이 실제와 어느 정도로 일치 하는지에 관심을 두고 풍동시험 결과와 비교했다.

## 2. 모형시험

### 2.1 모형제작

최근 항만의 부두에서 보편적으로 많이 사용되고 있는 Fig. 1의 콘테이너 크레인 모델을 100:1로 축소하여 모형을 제작하였다. 가급적 실물의 외형에 충실히 상사하도록 하였으나, 난간이나 소규모 부가물의 경우 같은 크기로 축소할 수 없기 때문에 경험적으로 제작하였다. 모형은 가급적 가벼워야 하겠으나 풍속에 견디도록 충분한 강도를 가져야 한다. 이를 위하여 황동판을 제단하여 특수하게 제작하였다. Boom은 실제로 격은 수직상태를 모사할 수 있도록 제작하였다. 차륜의 실제 형상은 무시하고 로드셀에 부착이 용이하도록 변경하였다. 크레인의 주 구조인 boom은 길이가 94m이며 지면에서 약 34m 높이에 설치되어 있다. 크레인의 높이는 약 57m이고, boom을 수직으로 한 경우에는 약 84m이다. 크레인을 Fig. 1에서  $x-z$ 면에 투시

한 단면적을 수평면적  $A$ 라 정의하면  $606m^2$ 이다.

### 2.2 실험장치 및 시험방법

제작된 모형은 서울대학교 공과대학 기계공학과와 항공공학과와 저속 아음속풍속을 활용하여 시험되었다. 기계공학과와 풍동은 단면이  $90cm \times 90cm$ 의 폐순환식 아음속 풍동으로 풍동의 풍속은 최고  $60m/s$ 이고, 유동의 균일성은 1%, 난류강도는 0.1~0.2% 정도로 본 연구를 위하여 적합하다고 생각된다. Blockage 효과 및 벽면 효과를 고려하기 위하여 항공공학과에 설치되어 있는 폐순환식 아음속 풍동을 사용하였다. 풍동 측정부의 단면 크기는  $135cm \times 95cm$ 이다. 이 풍동은 가변피치 프로펠러를 사용하여 최고  $70m/sec$ 의 속도를 낼 수 있다.

모형을 풍동본체와 분리 설치하고 모형을 회전시킬 수 있도록 회전 디스크를 설계, 제작, 설치하였다. 디스크의 회전각도는 수동 스크루로 조정되도록 하였다. 원판은 풍동 바닥과 1mm 정도 간격이 유지되도록 설치하였기 때문에 풍동의 직접적 진동으로부터 모형이 격리될 수 있었다.

회전 디스크에는 크레인이 받는 풍하중과 차륜압

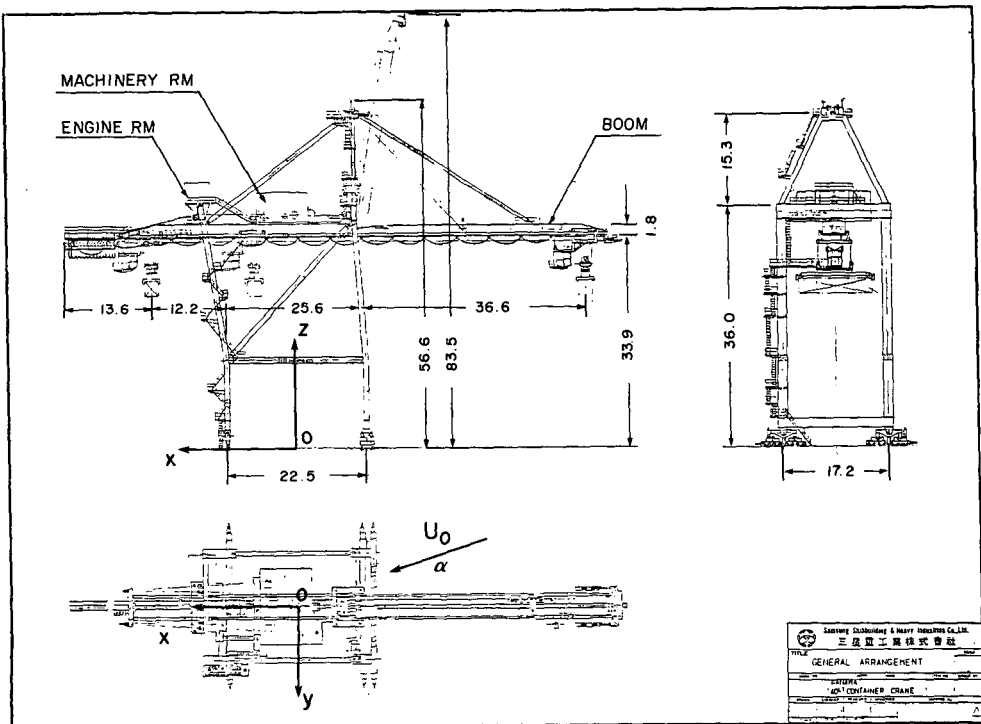


Fig. 1 General view of a container crane and a coordinate system

을 계측하기 위하여 4개의 로드셀을 설치하였다. 로드셀은 크레인의 차륜위치에서 3차원 하중이 계측되도록 설계, 제작되었다. 로드셀의 수직부에서 수평 분력을, 수평부에서 수직 분력을 계측한다. 로드셀은 가공성과 크기 및 강도를 고려하여 A1 2024 T4를 사용하였다. 스트레인 게지가 부착되는 부분에는 0.5mm 박막이 가공되어 있다. 90도 rosette형 스트레인 게지(Kyowa KFC-1-D16-23)를 양쪽에 부착하여 Wheatstone bridge를 구성한 후 bridge box에 연결하거나 직접 amplifier에 연결하였다. 로드셀은 선형성과 성분간의 독립성을 잘 나타내도록 설계되었고 정밀한 검정과정을 통해 그 성능을 조사하였다. 자세한 내용은 참고문헌 (1)에 기술하였다.

항공공학과와 풍동에서는 크레인 모형의 풍하중 측정을 위하여 3분력 기계식 저울(mechanical balance)를 사용하였다. 이 기계식저울을 모형의 양력, 항력, 피칭모멘트를 동시에 측정할 수 있으며 각 성분의 감도는 0.01lbs, 0.005lbs, 0.05in-lbs이다. 이 저울의 각 성분 측정계통은 각각 독립적으로 되어 있어서 분력 상호간의 간섭 영향은 없다.

기계식 저울은 한 위치에 고정되어 있어야 하므로 두 개의 아크릴 원판을 제작하여 하나는 기계식 저울에, 하나는 모델에 고정시켰다. 모델을 360도 회전시키면서 실험을 하기 위하여 두 원판에 45도 간격으로 8개의 구멍을 뚫어 볼트와 너트를 사용하여 고정시켰다.

한편 모형을 로드셀에 설치한 후 저울추를 이용하여 모형의 특정한 위치에 힘을 가하여 이들을 실제 실험에서와 같이 계측하였다. 이를 위하여 검정용 구조물을 별도로 제작하였다. 검정결과는 매우 양호하였으며 그 결과는 참고문헌 (1)에서 기술하였다. 이를 통해 계측시스템 전체의 오차를 확인할 수 있었다.

### 2.3 지면경계층의 재현방법

본 연구에서는 풍고도의 영향, 즉 지면에서의 높이 에 따라 풍속이 변하는 지면경계층 내에서 시험을 수행하여 그 영향을 연구하였다. 구조물이 실제 설치되어 있는 지면에 바람이 불면 지표면에서는 풍속이 엄밀하게는 영이고 고도에 따라 증가하다가 어느 정도 높이에서는 거의 일정한 속도를 유지한다. 뿐만 아니라 경계층 내의 난류강도에도 상당한

변화가 있다. 이를 지면 경계층이라고 하며, 고도에 따른 풍속의 변화는 주변 지형과 지면경계층의 효과를 합리적으로 고려해야 한다. 이에 관해서는 JIS B 8821, FEM(ISO), ANSI(American N. Standard)A58-1, BS 2573, AS(Australian Standard) 1170, UBC(Uniform Building Code), DIN 1055 등 외국의 여러가지 규격이 있으나 크레인의 설계에 적합한 통일된 규격은 없다.

그러나 본 연구에서는 특정한 풍고도의 경우보다는 풍고도가 크레인의 풍하중에 어떠한 영향을 미치며, 이를 설계에 어떻게 반영시키느냐에 관심을 두었기 때문에 보편적으로 의미 있는 속도분포를 한가지 택하였다. 이러한 자료는 앞으로 설계에 합리적으로 반영할 수 있는 정보를 제공하여 준다. 이를 위하여 다음의 속도분포를 가정하였다.

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/10}$$

여기서  $U_0$ 는 지면경계층의 두께  $\delta$ 에서 풍속을 나타낸다. 위 속도분포는 건물이나 구조물 등 장애물이 거의 없는 열린 지역, 또는 해양에서의 기상 상태에 적합하다고 알려져 있다. 물론 평균속도 분포뿐만 아니라 난류강도도 구조물의 풍하중에 큰 영향을 미치는 것은 잘 알려진 사실이다. 여기서  $\delta$ 는 250m로 하였으며 본 연구에서 모형의 축척이 100 : 1이므로 풍동에서는 250cm로 하였다. 이러한

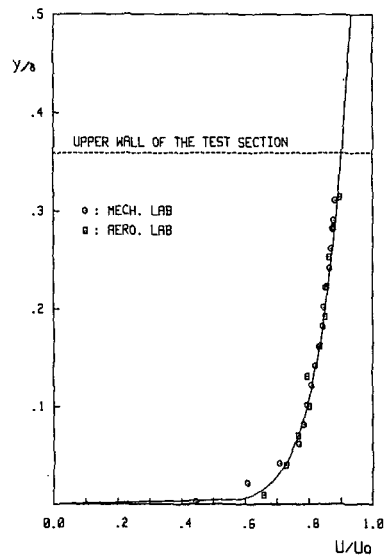


Fig. 2 Velocity profiles of simulated ground boundary layer in wind tunnels

power-law 속도분포는 여러 규격에서 채택하고 있으며, 단지 지수와 경계층의 두께는 규격 및 경우마다 다르다. 본 연구에서 택한 값은 이들 범위내에서의 값이다<sup>(2,3)</sup>.

풍동에서 임의의 속도분포를 발생시키는 방법은 여러가지로 가능하겠으나 그리 쉽지 않다. 본 연구에서는 가는 원형 파이프를 유동방향에 수직방향으로 그 간격을 조절하여 설치하였다. 여기서는 직경 9mm의 스테인리스 파이프를 사용하였다. 설치간격은 선형 비점성이론에 의해 여러번 시도하여 결정되었다. 파이프 그리드는 모형 크레인 상류 1.5 m 지점에 설치하였고 Fig. 2에 양 풍동의 속도분포의 재현 결과를 나타내었고 열선풍속계로 계측한 경계층 내의 난류강도는 약 6%이었다.

### 2.4 시험 조건

크레인은 풍동 내에서 15도 간격으로 360도 회전시켜 풍향을 변화시켰다. 각도가 +90도 및 -90도인 경우에는 boom이 풍동벽에 닿으므로 생각하고 135×95 풍동에서 실험하여 보완하였다. 4콘테의 차륜 위치에서 계측된 3성분의 힘을 갖고 3성분의 힘과 모멘트  $F_i$ 와  $M_i$ 를 구하였다. 여기서  $i=1, 2, 3$ 은 각각  $x, y, z$  방향의 성분을 나타낸다. 모멘트는 Fig. 1에서 원점을 기준으로 하였고, 이들은 다음과 같이 무차원화하였다.

$$C_{fi} = \frac{F_i}{1/2\rho U_0^2 A}$$

$$C_{mi} = \frac{M_i}{1/2\rho U_0^2 AB}$$

여기서  $U_0$ 는 균일유동의 속도 또는 지면경계층의 끝에서의 최대속도이고,  $A$ 는 수평면적으로  $606m^2$ 이고,  $B$ 는 레일 간격에 해당하는 기준길이이며 22.55m이다. 한편 지면에 평행한 전체수평력과 수평모멘트는 다음과 같다.

$$C_f = (C_{fx}^2 + C_{fy}^2)^{1/2}$$

$$C_m = (C_{mx}^2 + C_{my}^2)^{1/2}$$

## 3. 시험결과 및 토의

### 3.1 Reynolds수의 영향

보통 옥외의 작업구조물은 작업시 설계풍속은 16 m/s, 작업중지시는 55m/s의 풍속에서 설계된다. 콘테이너 크레인의 풍하중도 풍속 55m/s를 기준으로 하여 설계한다면 풍동시험에서는 실물에서의

Reynolds수를 유지할 수 없기 때문에 가급적 Reynolds수를 증가시키면서 풍하중의 변화를 관찰하여야 한다. 모형을 풍동의 최대속도까지 시험될 수 있도록 제작하기는 매우 어렵다. 따라서 풍속에 따른 변화와 시험오차 범위를 종합적으로 분석하여 시험속도를 결정하고, 경우에 따라서는 보정방법과 보정량을 생각하여야 한다. 풍속은 10m/s, 20m/s, 30m/s로 증가시키면서 풍하중을 계측하였고 풍속이 10m/s일때는 데이터 자체와 각도에 따른 변화가 불안정하나 20m/s 및 30m/s에서의 결과는 실험의 반복성 오차내에서 일정한 값을 유지하기에 30m/s가 시험속도로써 적합하다고 생각된다<sup>(1)</sup>.

### 3.2 균일유동에서의 풍하중 및 예측

풍속 30m/s의 균일유동에서 풍하중 시험을 수행하였다. 시험의 기본목적은 규격에 의하여 설계단계에서 예측한 풍하중과 시험치와 비교하여 설계자료를 확보함과, 풍향에 따라 풍하중의 변화특성을 조사하고 현존 타 크레인과 풍하중 특성을 비교하기 위함이다. 시험은 여러번 설치상태를 조정하여 수행되었고, 이는 계측 시스템의 안정성, 설치상태의 영향 등에 의한 시험의 반복성을 검토하기 위함이다.

풍향이 180도 근처, 즉 역풍의 경우 수평력에 약간의 변화를 보이고 있으나 전체적으로 훌륭한 반복성을 보이고 있으며, 이는 2.2절에 기술한 검정과정과 함께 계측방법의 합리성 및 정당성과 계측 시스템의 안정성을 나타낸다<sup>(1)</sup>. 전체수평력의 바람에 수직인 성분, 즉 양력은 거의 무시될 정도로 작으며, 수평력은 풍향에 따라 변한다. Fig. 3에서 볼 때 수평저항계수  $C_f$ 는 대체적으로 1.0-1.4의

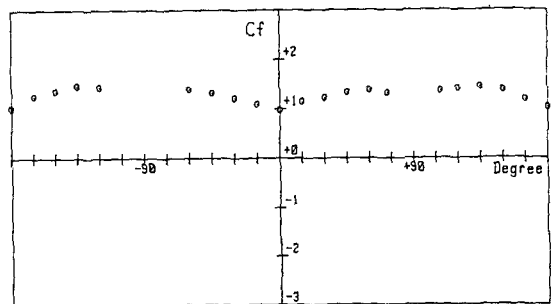


Fig. 3 Measured drag coefficients in the uniform flow (horizontal boom)

크기로 보이거나 각도가 0, 90, 180, -90도에서 최소치를 보이고, 그 사이 풍향에서 최대값을 나타낸다. 이는 크레인 구조요소 중 기둥 간의 shielding 효과를 나타내어 준다. 그림에서 나타내지는 않았으나 풍향에 따른 수평양력은 거의 없었다. 모멘트의 특성도 이와 거의 유사하다. 본 논문에서는 지면관계로 생략하였다. 모멘트와 저항계수에서 저항의 평균작용점을 계산하면 1.39B이다. Boom의 위치가 1.51B임을 고려하면 boom보다 약간 아래에 작용함을 알 수 있다. 본 연구와 유사한 참고문헌(4)의 결과와 비교하면 계수들의 변화특성은 유사하고 저항계수들은 대체적으로 작았다.

Boom을 수직 위치로 고정하였을 경우 저항계수를 Fig. 4에 나타내었다. 대체적으로 전과 같은 경향이나 수평력이  $\alpha=0$ 도 및 180도 근처에서는 약 25%, 90도 및 -90도 근처에서는 5% 정도 증가하였다. 수평력의 평균작용점의 위치는 약 1.65B로 높아졌다. 한편 BS2573 규격에 의해 현재의 설계방법에 의해 예측된 항력 계수와 실험결과는 다음과 같으며, 여기서  $\alpha=90$ 도에서의 수평면적을 기준으로 하였다.

Boom	풍향각도	저항계수 (계산)	저항계수 (시험)	오차(%)
수평	0	1.417	0.96	48
수평	90	1.490	1.22	22
수직	0	1.619	1.19	36
수직	90	1.490	1.13	32

여기서 계산에 의하여 예측된 저항계수는 실험결과에 비하여 약 20~50% 크다. 따라서 충분한 기초자료의 확보와 계산방법의 개선 내지 전산화를 통해 풍고도의 영향까지 고려한 예측방법의 연구가

필요하다고 생각된다.

### 3.3 풍고도의 영향

앞에서 설명한 바와 같이 전단층에서 boom이 수평위치일때와 수직일 때의 시험된 저항계수를 각각 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 풍향에 따른 특성은 전과 같으나, 모멘트 암, 즉 저항의 평균작용점은 풍향각에 따라 다소 다르나 약 1.4B 및 1.6B로 각각 변하였다. 이는 높이에 따라 풍속이 크기 때문에 기대한 바이다. 이때도 boom이 수직일 때 수평력과 모멘트가 증가하였다. 한편 수평력이 최대가 되는 각도는 boom이 수직일때 0도 및 180도에 더욱 가까워진다. 이는 균일유동일 때도 마찬가지이며 boom 자체의 영향도 상당히 있음을 나타낸다.

본 실험에서 난류강도는 약 6% 정도이기에 난류강도의 영향이 이미 포함되어 있다. 난류강도가 상당히 증가하였을때의 결과도 흥미로우나 더 높은 난류강도를 발생하기 위해서는 특별한 장치가 필요

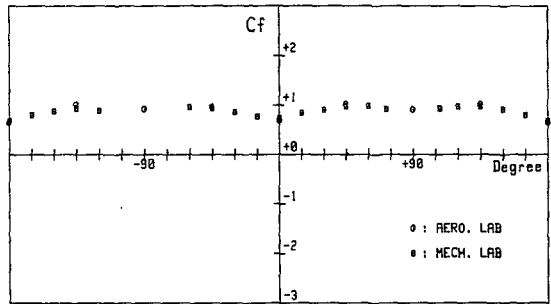


Fig. 5 Measured drag coefficients in the boundary layer (horizontal boom)

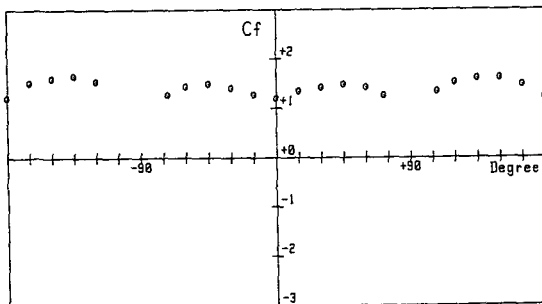


Fig. 4 Measured drag coefficients in the uniform flow (vertical boom)

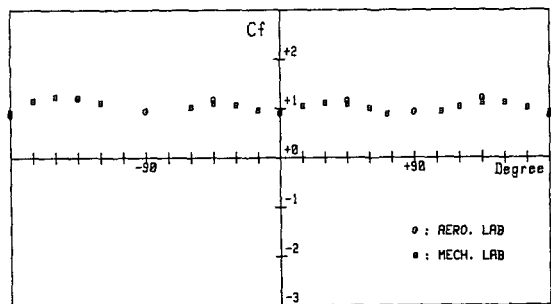


Fig. 6 Measured drag coefficients in the boundary layer (vertical boom)

하다. 그래서 본 연구에서는 시도하지 않았으나 구조물 요소의 모양, 크기와 속도의 범위를 고려할 때 큰 변화는 기대되지 않는다.

항공공학과와 풍동에서 blockage effects 등의 영향을 보기 위하여 동일한 시험을 수행하였다. 앞서 언급한 바와 같이 풍고도의 상태는 같은 조건이었다. 수평면적으로 무차원화 된 저항계수를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 양 풍동에서의 결과가 잘 일치하고 있음을 고려하면, 모든 시험이 합리적이고 정밀하게 이루어졌음을 알 수 있다. 따라서 blockage effects는 양 풍동에서 크지 않다고 생각된다. 구조물의 수평면적이  $606m^2$ 이므로 양 학과의 풍동에서 구조물 수평면적의 풍동단면적에 대한 비가 각각 7.5% 및 4.7%이다. 그러나 본 크레인 과 같은 구조물에서는 이 정도의 단면적비에 blockage 효과가 크지 않으리라 생각된다. 한편 여기서는 0도부터 360도까지 45도 간격으로 실험을 수행하였기에 앞에서 실험하지 못한 90도와 -90도에서의 저항과 모멘트를 예측하였다. 예측된 결과를 보면 0도 부근에서와 비슷하게 90도 근처에서 저항이 극소치를 나타냄을 알 수 있다.

### 3.4 상층 구조물의 형상 수정에 따른 항력변화

크레인의 boom 상부에  $8.5m \times 12m \times 9.2m$ 의 기계실과  $4.5m \times 10.0m \times 5.5m$  크기의 엔진룸이 설치되어 있다. 전체의 크기와 비교할 때 주 풍하중인 항력 및 수평모멘트의 상당부분이 이러한 상자모양의 상층구조물에 의한 것임을 쉽게 알 수 있으므로 그 모양을 변형시키면서 항력계수와 모멘트계수를 측정하여 형상변화에 따른 항력 및 수평모멘트의 감소효과를 비교하였다.

기계실과 엔진룸은 Fig. 7과 같이 수직면에 직각

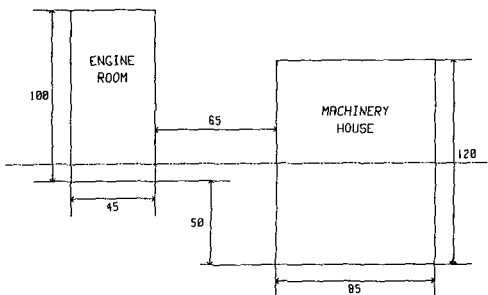


Fig. 7 Original configuration of the model

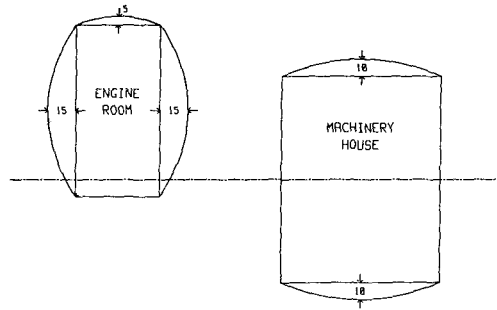


Fig. 8 Modified configuration of the model (case 1)

모서리를 갖는 직육면체이므로 Fig. 8과 같이 측면을 원호형으로 바꾸거나(case 1), Fig. 9와 같이 수직모서리를 라운딩하여(case 2) 공기역학적으로 항력을 적게 받는 형상이 되도록 하였다. 구조적으로 안정된 모델을 제작하고자 원래의 모델에는 금속재질을 사용했으므로 도면치수로 제작된 상층구조물의 모서리를 바로 라운딩하기가 어렵기 때문에 상자모양의 구조물에 인공물체를 사용하여 원하는 형상이 되도록 하였다. 인공물체로는 case 1에 프라스틱, case 2에 발사나무를 사용하였다. 기계실의 좌우면과 엔진룸의 후면은 복잡한 배관 구조상 형상의 변화를 시도하기가 어려웠다.

실험은 형상변화에 따른 항력 감소 연구에 기본이 되는 90도, 135도 풍향에 대하여 수평 boom과 수직 boom 두가지 상태에 대하여 전단유동에서 행하여 그 경향을 알아보았다. 나머지 풍향에 대한 결과는 구조물이 거의 좌우대칭이므로 90도, 135도 풍향의 결과와 거의 유사하리라 생각된다.

네가지 경우 중 풍향이 90도이고 boom이 수평 상태일때 case 1에서 8.9%, 13.8% 그리고 case 2에서 7.8%, 14.3% 만큼 항력계수와 모멘트계수가 줄어들어 가장 큰 항력감소를 보여주었고, 전체적

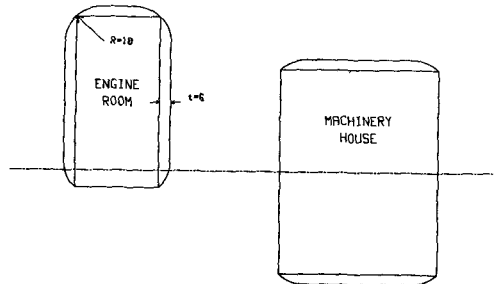


Fig. 9 Modified configuration of the model (case 2)

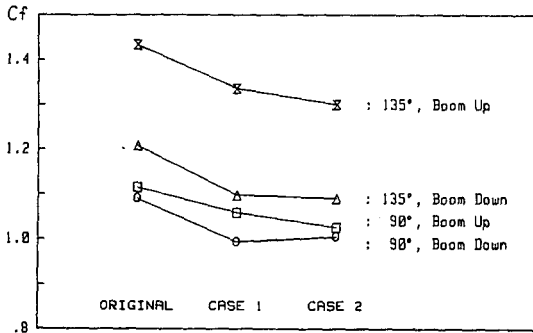


Fig. 10 Variation of drag coefficients with modifications of configuration.

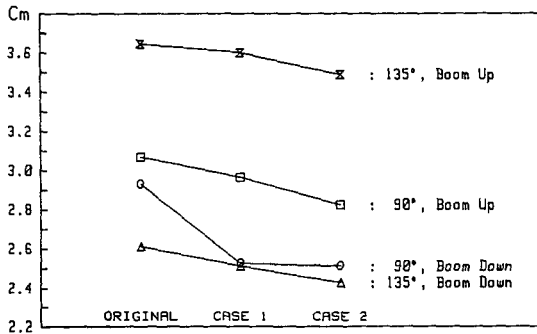


Fig. 11 Variation of moment coefficients with modifications of configuration

으로 case 1에서 5~9%, 1~14%, case 2에서 8~10%, 4~15%의 항력 및 모멘트 계수가 감소하였다. Fig. 10과 Fig. 11을 보면 case 2가 case 1보다 효과적임을 알 수 있다. case 2가 더 효과적인 것은 case 1에서 상층구조물 모양이 실린더형이 되나 모서리가 둥글지 않아서 불필요한 저항을 받고 있기 때문이라고 생각된다. 그러므로 상층구조물 모양을 실린더 모양으로 변형시키는 것보다 모서리를 라운딩하는 것이 효과적이고 또한 제작이 용이하여 경제적으로 잇점이 있다고 할 수 있다. 그리고 수직방향모서리를 라운딩하여 최고 10%의 큰 항력계수 감소 효과가 생기는 것으로 보아 상위구조물 항력분담율이 아주 크다는 것을 알 수 있다. 아무것도 첨가하지 않은 본래 형상에서 수직 모서리뿐만 아니라 상하면의 수평모서리도 라운딩하면 감소 효과가 극대화되어 보다 큰 항력 감소가 기대된다.

### 5. 결 론

이상의 컨테이너 크레인의 풍동시험을 통하여 얻은 결과를 분석할 때 다음과 같은 결론을 맺는다.

(1) Reynolds 수에 따라 크레인의 풍하중 시험 결과는 상당히 다를 수 있으나 본 연구에서 채택한 100 : 1 축척의 크레인 모형은 30~35m/s의 시험풍속은 실물의 항력계수를 나타내는데 큰 문제가 없다고 본다. 또한 본 연구에서는 구조물의 수평면적의 풍동 단면적비가 각각 7.5% 및 4.7%로 상이한 2개의 풍동에서 별도의 실험을 수행한 결과가 시험 오차 내에서 일정한 결과를 보여주는 점으로 판단하면, blockage의 영향은 크지 않다고 생각된다.

(2) 풍향각에 따라 항력과 수평모멘트는 상당히 변하고 있으며 유사한 크레인의 기존 실험자료와 그 경향이 일치한다. 풍향이 0, 90, 180도에서 극소치를 보이고, 약 60도 및 120도 근처에서 극대치를 보인다. 이는 크레인 부재들 사이의 간섭이 극대 또는 극소가 되기 때문이다. Boom이 수평일때 보다 수직일때 항력과 모멘트는 증가하고, 항력의 평균 작용점의 위치도 증가하였다. 한편 수평항력은 풍향각과 실험오차 내에서 일치하고 있다. 이는 풍향에 수직인 양력성분은 극히 작다는 의미이다.

(3) 지면경계층에서 실험한 결과 풍향각의 영향은 균일유동의 경우와 거의 같다. 그러나 항력과 모멘트의 절대값은 상당히 다르다. 따라서 앞으로 풍고도의 영향을 고려하여 설계를 수행할 경우 본 실험결과는 유용한 비교자료가 될 것이다.

(4) 기계실 및 엔진룸의 외벽 모서리를 라운딩하여 약 10% 내외의 항력감소 효과를 얻을 수 있었다. 이는 처음 기대한 양 보다는 큰 결과이다. 이와같이 크레인의 부재의 배치나 구조의 형상을 변화시켜 풍하중의 감소라는 관점에서 풍동을 이용한 연구는 바람직하다고 생각된다.

(5) 확보된 기초 자료와 규격의 설계자료를 활용하여 크레인 등 구조물 풍하중의 신빙성 있는 예측방법의 개발, 최적설계방안의 연구, 신뢰성 및 안정성에 관한 연구가 계속 이루어져야 하겠다. 본문에서 언급한 바 기존 BS 2573 규격에 의한 크레인의 풍하중 예측량은 풍동실험 결과에 비하여 약 20~50% 정도로 많다는 사실은 이러한 연구의 필

요성을 강조하고 있다.

### 참 고 문 헌

- (1) 강신형, 이동호, 좌성훈, 허 중, 이승배, 이 창호, 1988, "콘테이너 크레인의 풍하중 설계자료 개발 및 풍동시험에 관한 연구", 서울대학교 공과대학 부속
- 생산기술연구소 연구보고서 RIIS 87-008.
- (2) J. E. Cermak, 1976, "Aerodynamics of Buildings", Annular Reviews of Fluids Mechanics, Vol. 8.
- (3) H. R. Wiliam and A. Pope, 1884, Low Speed Wind-Tunnel Testing, John Wiley & Sons.
- (4) 横浜市港湾局港湾整備部施設課, 1987, "横浜港大黒ふ頭重量物用橋型起重機の風洞實驗報告", 港湾荷役, Vol. 32, No. 6.